Empirische Untersuchungen zur Querregelung in Fahrsimulatoren

Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen und Sensitivität von Messgrößen

Inaugural-Dissertation
in der Philosophischen Fakultät und Fachbereich Theologie
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von
Gwendolin Knappe

aus
München

D 29

Tag der mündlichen Prüfung: 30.11.2009

Dekan:	Universitätsprofessorin Dr. Heidrun Stein-Kecks
Erstgutachter:	Universitätsprofessorin Dr. Cristina Meinecke
Zweitgutachter:	Universitätsprofessor Mark Stemmler, Ph.D.

Danksagung:

Ohne die Unterstützung folgender Personen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ihnen gilt mein besonderer Dank:

Frau Professor Cristina Meinecke für die Ermöglichung und Betreuung der Arbeit sowie viele inspirierende Diskussionen;
Herrn Professor Mark Stemmler für die anregenden Diskussionen hinsichtlich der statistischen Auswertung;

der BMW Group für die Ermöglichung der Arbeit - stellvertretend seien folgende ehemalige Kollegen genannt:
Andreas Keinath (für Betreuung, konstruktive Kritik und einen langen Atem), Klaus-Josef Bengler mit seinem MMI-Team (für die Ermöglichung und Betreuung der Arbeit), Alexander Huesmann mit seinem Fahrsimulator-Team (für die technische Unterstützung bei den Fahrsimulatorversuchen und ein immer offenes Ohr), Kollegen aus der Werkstatt (für die hardwareseitigen Abdeckungen bei Experiment 3), Stefan Graf (für unermüdliche Unterstützung bei der Übertragung der Auswertungen in Matlab-Routinen), Andreas Kaltenbach (für die Unterstützung bei Leuchtdichtemessungen), Benni Fehringer (für die Durchführung von Experiment 4) und allen Versuchspersonen, für ihre Teilnahme an den Experimenten.
Professor Dr. Josef Krems, Diana Rösler und Martin Baumann von der TU-Chemnitz für die Überlassung der sekundären Aufgabe „Bahnauskunft“

und meinem Mann, meinen Eltern, meiner Schwester und meinen Freunden für ihre Unterstützung, Zuversicht, Geduld und Aufmunterung;

Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 13
1.1 Zielsetzung der Arbeit 15
1.2 Aufbau der Arbeit 16

2 Die Menschliche Wahrnehmung 17
2.1 Aufbau des visuellen Systems 17
2.2 Wahrnehmung der räumlichen Tiefe 22
2.3 Auditorische, vestibuläre und propriozeptive Wahrnehmung 25

3 Autofahren und Querregelung 26
3.1 Visuelle Wahrnehmung und Querregelung 26
3.1.1 Optischer und Retinaler Fluss 26
3.1.2 Spreizwinkel und Spurmarkierung 28
3.1.3 Querregelung und peripheres Sehen 31
3.1.4 Nichtvisuelle Einflüsse auf die Querregelung 33
3.2 Kognitive Modelle zum Autofahren 34
3.3 Sekundäre Aufgabenbearbeitung 36

4 Fahrsimulatoren und Fahrsimulation 38
4.1 Fahrsimulatortypen 38
4.2 Übertragbarkeit von Fahrsimulatoruntersuchungen auf Realfahrten 40
4.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse von Fahrsimulator zu Fahrsimulator 42

5 Messung der Querregelung 47
5.1 Ausgewählte Spurmaße 47
5.1.1 Mittelwert der lateralen Position (MLP) 48
5.1.2 Standardabweichung der lateralen Position (SDLP) 48
5.1.3 Spurüberschreitungen (LANEX) 52
5.1.4 Time to Line Crossing (TLC) 54
5.2 Ausgewählte Lenkmaße 57
5.2.1 Standardabweichung des Lenkwinkels (SDST) 57
5.2.2 Steering Reversal Rate (SRR) 58
5.2.3 Hochfrequenzkomponenten des Lenksignals (HFC) 59
5.2.4 Nulldurchgänge (ZERO) 60
5.3 Aussagekraft der Querregelungsmaße 62

6 Zielsetzung der Arbeit 65

7 Gemeinsamkeiten der vier Experimente 68
7.1 Statische Fahrsimulatorvarianten 68
7.1.1 Fahrsimulatorvariante „Projektion“ 69
7.1.2 Fahrsimulatorvariante „Plasma“ 70
7.1.3 Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten 71
7.2 Computerarchitektur und Datenerfassung 74
7.3 Versuchsstrecke und Fremdverkehr 74
7.4 Querregelung 75
7.4.1 Maße für die Hypothesenüberprüfung 76
7.4.2 Qualitative Effektstärkenbetrachtung 76

8 Experiment 1: „Der Einfluss des peripheren Sehens und der Fahrsimulatorvariante auf die Querregelung“ 78
8.1 Ziel der Untersuchung 78
8.2 Methode 79
8.2.1 Versuchspersonen 79
8.2.2 Versuchsplan 80
8.2.3 Material und Geräte 82
8.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion 84
8.3 Ergebnisse 85
8.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten 85
8.3.2 Hypothesenüberprüfung 86
8.3.3 Subjektive Bewertung 92
8.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung 93
8.4 Diskussion 96

9 Experiment 2: „Der Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung, Fremdverkehr und Fahrsimulatorvariante auf die Querregelung“ 101
9.1 Ziel der Untersuchung 101
9.2 Methode 104
9.2.1 Versuchspersonen 104
9.2.2 Versuchsplan 105
9.2.3 Material und Geräte 108
9.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion 109
9.3 Ergebnisse 111
9.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten 111
9.3.2 Hypothesenüberprüfung 113
9.3.3 Subjektive Bewertung 123
9.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung 125
9.4 Diskussion 128

10 Experiment 3: „Der Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung, Fahrsimulatorvariante, Größe des Sichtfeldes, vertikalen Balken und Bildqualität auf die Querregelung“ 134
10.1 Ziel der Untersuchung 134
10.2 Methode 136
10.2.1 Versuchspersonen 136
10.2.2 Versuchsplan 137
10.2.3 Material und Geräte 139
10.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion 143
10.3 Ergebnisse 144
10.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten 144
10.3.2 Hypothesenüberprüfung 146
10.3.3 Subjektive Bewertung 161
10.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung 163
10.4 Diskussion 165

11 Experiment 4: „Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung, Fahrsimulatorvariante und peripherem Sehen auf die Querregelung“ 170
11.1 Ziel der Untersuchung 170
11.2 Methode 172
11.2.1 Versuchspersonen 172
11.2.2 Versuchsplan 173
11.2.3 Material und Geräte 176
11.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion 177

11.3 Ergebnisse 178
11.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten 178
11.3.2 Hypothesenüberprüfung 179
11.3.3 Subjektive Bewertung 190
11.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung 192
11.4 Diskussion 195

12 Diskussion 202
12.1 Einflussfaktoren auf die Querregelung 203
12.2 Sensitivität der Maße und Vergleichbarkeit der Fahrsimulatorvarianten 207
12.3 Bewertung und Ausblick 209

13 Zusammenfassung 211

A.1 Experiment 1 213

A.2 Experiment 2 223

A.3 Experiment 3 237

A.4 Experiment 4 252

Literaturverzeichnis 263

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Konzentrationsverteilung von Stäbchen und Zapfen im menschlichen Auge (Birbaumer & Schmidt, 1999) 18
Abbildung 2.2 Abhängigkeit der Sehschärfe vom Abstand zur Fovea Centralis bei Photopischem und Skotopischem Sehen (Birbaumer & Schmidt, 1999) 18
Abbildung 2.3 Schematische Darstellung des Gesichtsfeldes nach Pöppel und Harvey (1973), nach Strasburger (2003) 19

Abbildung 3.1 Hierarchisches Modell des Autofahrens nach Michon (1989) 34
Abbildung 3.2 Supervisory Driver Model nach Blaauw (1984) 35
Abbildung 3.3 Wickens' vereinfachtes Modell der Informationsverarbeitung aus Frieling und Sonntag (1999) 36

Abbildung 5.1 SDLP-Werte bei extremen Spurverläufen 49
Abbildung 5.2 Einschwingverhalten von MLP und SDLP 50
Abbildung 5.3 Filterung des Spursignals und Einschwingverhalten der MSDLP 51
Abbildung 5.4 Bildung der mittleren SDLP aus dem Verlauf der SDLP 52
Abbildung 5.5 Beispielhafter zeitlicher Verlauf von t_{tlc} Werten nach Östlund et al. (2004) 54
Abbildung 5.6 Minimumsbestimmung im zeitlichen Verlauf von t_{tlc} Werten nach Östlund et al. (2004) 55
Abbildung 5.7 Verdeutlichung der *Abstandsgröße* $\Delta\alpha_{gap}$ im Lenkradwinkelsignal 58
Abbildung 5.8 Glättung des Lenkradwinkelsignals im Nullbereich 61

Abbildung 7.1 Abmessungen Fahrsimulatorvariante „Projektion" 69
Abbildung 7.2 Abmessungen Fahrsimulatorvariante „Plasma" 70
Abbildung 7.3 Ansicht der Fahrsimulator „Projektion" (links) und „Plasma" (rechts) 71
Abbildung 7.4 Leuchtdichteübersicht Fahrsimulatorvariante „Plasma" 72
Abbildung 7.5 Leuchtdichteübersicht Fahrsimulatorvariante „Projektion" 72

Abbildung 8.1 Schematische Darstellung der Strecke von Experiment 1 82
Abbildung 8.2 Resultierender Sichtausschnitt und Refraktionsbrille mit „Scheuklappen" 83
Abbildung 8.3 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit 93
Abbildung 8.4 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit 95

Abbildung 9.1 Schematische Darstellung der Strecke für Experiment 2 108
Abbildung 9.2 CARIN - System und Kassetten 109
Abbildung 9.3 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit. 125
Abbildung 9.4 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit. 127

Abbildung 10.1 Modifikation „Projektion klein Balken" 140
Abbildung 10.2 Modifikation „Plasma" 140
Abbildung 10.3 Schematische Darstellung der Strecke für Experiment 3 141
Abbildung 10.4 Effektstärkengruppierung zur Ermittlung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit. 163
Abbildung 10.5 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit 164

Abbildung 11.1 Sichtbedingungen „5 Grad“ (links), „Trapez“ (rechts) und „Standard“ (unten) für die Variante „Projektion“ 174
Abbildung 11.2 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und relative Vergleichbarkeit (sekundäre Aufgabenbearbeitung) 192
Abbildung 11.3 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit (Sichtfeldeinschränkung) 193
Abbildung 11.4 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit 194

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1 Übersicht über die untersuchten Einflussfaktoren pro Experiment 67

Tabelle 7.1 Kontrastwerte für beide Fahrsimulatorvarianten 73
Tabelle 7.2 Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten.....73

Tabelle 8.1 Fahrleistung der Probanden.....79
Tabelle 8.2 Versuchsplan Experiment 1 80
Tabelle 8.3 Bearbeitungsabfolgen 81
Tabelle 8.4 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler.....87
Tabelle 8.5 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler.....88
Tabelle 8.6 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler.....89
Tabelle 8.7 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler.....89
Tabelle 8.8 Maß SRR0.4: Mittelwerte und Standardfehler 90
Tabelle 8.9 Beurteilung der Schwierigkeit der einzelnen Fahrten in der jeweiligen Fahrsimulatorvariante: Mittelwerte und Standardfehler.....92

Tabelle 9.1 Fahrleistung der Probanden - getrennt nach Gruppe 104
Tabelle 9.2 Versuchsplan Experiment 2 106
Tabelle 9.3 Bearbeitungsabfolgen 107
Tabelle 9.4 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell..114
Tabelle 9.5 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv 115
Tabelle 9.6 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell 116
Tabelle 9.7 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv 117
Tabelle 9.8 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell..118
Tabelle 9.9 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv 119
Tabelle 9.10 Maß SRR (Gap 2): Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell.....120
Tabelle 9.11 Maß SRR (Gap 0.4): Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv 121
Tabelle 9.12 Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“ beinhaltet beide sekundären Aufgaben.....123

Tabelle 10.1 Fahrleistung der Probanden.....136
Tabelle 10.2 Versuchsplan Experiment 3 137
Tabelle 10.3 Bearbeitungsabfolgen für die vier Modifikationen 138
Tabelle 10.4 Bearbeitungsabfolgen für den Faktor FAHRT.....139
Tabelle 10.5 Beispiel für den Inhalt der eingesetzten Karten 142
Tabelle 10.6 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE 146
Tabelle 10.7 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE 147
Tabelle 10.8 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE 148
Tabelle 10.9 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE 149
Tabelle 10.10 Maß SRR0.4: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE 150
Tabelle 10.11 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN.....151

Tabelle 10.12 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN 152
Tabelle 10.13 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN 152
Tabelle 10.14 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN 153
Tabelle 10.15 Maß SRR0.4: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN 153
Tabelle 10.16 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD 154
Tabelle 10.17 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD 155
Tabelle 10.18 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD 155
Tabelle 10.19 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD 156
Tabelle 10.20 Maß SRR0.4: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD 157
Tabelle 10.21 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT 158
Tabelle 10.22 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT 159
Tabelle 10.23 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT 159
Tabelle 10.24 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT – ohne „Task“ kognitiv 160
Tabelle 10.25 Maß SRR0.4: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT – ohne „Task“ (visuell-manuell) 161
Tabelle 10.26 Beurteilung der Ablenkungswirkung der jeweiligen Aufgabenfahrt: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Variante 162
Tabelle 10.27 Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Variante „Plasma“ und „Projektion“ 162

Tabelle 11.1 Fahrleistung der Probanden 172
Tabelle 11.2 Versuchsplan für Experiment 4 174
Tabelle 11.3 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung 180
Tabelle 11.4 Maß SDLP: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“ 181
Tabelle 11.5 Maß SDLP: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“ 181
Tabelle 11.6 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung 182
Tabelle 11.7 Maß TLC_{mean}: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“ 183
Tabelle 11.8 Maß TLC_{mean}: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“ 183
Tabelle 11.9 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung 184
Tabelle 11.10 Maß SDST: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“ 185
Tabelle 11.11 Maß SDST: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“ 185
Tabelle 11.12 Maß SRR0.4: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung 186
Tabelle 11.13 Maß SRR0.4: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“ 187
Tabelle 11.14 Maß SRR0.4: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“ 187

Tabelle 11.15 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....188
Tabelle 11.16 Maß SRR2: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“ 189
Tabelle 11.17 Maß SRR2: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“ .189
Tabelle 11.18 Beurteilung der Ablenkungswirkung der jeweiligen Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung: Mittelwerte und Standardfehler für die Sichtbedingung „Standard“ 190
Tabelle 11.19 Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren: Mittelwerte und Standardfehler – aufgeschlüsselt nach Variante und Sichtbedingung 191

Tabelle A.1.1 Maß TLC_{thresh} Mittelwerte und Standardfehler 219
Tabelle A.1.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler 219
Tabelle A.1.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler 219
Tabelle A.1.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler....219
Tabelle A.1.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler....220
Tabelle A.1.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler 220
Tabelle A.1.7 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse 220
Tabelle A.1.8 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....221
Tabelle A.1.9 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....221
Tabelle A.1.10 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse....222
Tabelle A.1.11 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse....222

Tabelle A.2.1 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler 229
Tabelle A.2.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler 229
Tabelle A.2.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler 229
Tabelle A.2.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler....230
Tabelle A.2.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler....230
Tabelle A.2.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler 230
Tabelle A.2.7 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler 231
Tabelle A.2.8 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler 231
Tabelle A.2.9 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler 231
Tabelle A.2.10 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler....232
Tabelle A.2.11 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler....232
Tabelle A.2.12 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler 232
Tabelle A.2.13 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse 233
Tabelle A.2.14 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....233
Tabelle A.2.15 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....234
Tabelle A.2.16 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse....234
Tabelle A.2.17 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse....235
Tabelle A.2.18 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....235
Tabelle A.2.19 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....236
Tabelle A.2.20 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse....236

Tabelle A.3.1 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....242
Tabelle A.3.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....242
Tabelle A.3.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....242
Tabelle A.3.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....243
Tabelle A.3.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....243

Tabelle A.3.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....243
Tabelle A.3.7 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse....244
Tabelle A.3.8 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....244
Tabelle A.3.9 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....244
Tabelle A.3.10 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse....245
Tabelle A.3.11 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse....245
Tabelle A.3.12 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse....246
Tabelle A.3.13 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....246
Tabelle A.3.14 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....246
Tabelle A.3.15 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse....247
Tabelle A.3.16 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse....247
Tabelle A.3.17 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse....248
Tabelle A.3.18 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....248
Tabelle A.3.19 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....248
Tabelle A.3.20 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse....249
Tabelle A.3.21 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse....249
Tabelle A.3.22 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse....250
Tabelle A.3.23 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....250
Tabelle A.3.24 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....250
Tabelle A.3.25 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse....251
Tabelle A.3.26 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse....251

Tabelle A.4.1 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....257
Tabelle A.4.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....257
Tabelle A.4.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....258
Tabelle A.4.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....258
Tabelle A.4.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....259
Tabelle A.4.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung....259
Tabelle A.4.7 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse....260
Tabelle A.4.8 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse....260
Tabelle A.4.9 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse....261
Tabelle A.4.10 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse....261
Tabelle A.4.11 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse....262

1 Einleitung

Trotz gesteigerten Verkehrsaufkommens in den letzen Jahrzehnten hat sich die Zahl der Verkehrstoten verringert. Einen wichtigen Beitrag zu dieser Entwicklung hat die kontinuierliche Zunahme und Verbesserung der passiven und aktiven Sicherheitssysteme in der Fahrzeugtechnik geleistet. Passive Sicherheitssysteme unterstützen den Fahrer in Gefahrensituationen, ohne dass die entsprechende Aktion von dem Fahrer explizit angefordert wird. Beispiele für solche Systeme sind Bremsassistent und Antiblockiersystem (ABS). Aktive Sicherheitssysteme unterstützen den Fahrer bei der eigentlichen Fahrzeugführung, wobei hier der Fahrer die entsprechende Funktionalität anfordern und auch wieder beenden kann. Als Beispiel sei hier das Active Cruise Control (ACC) System genannt (vgl. Simon, 2005). Neben diesen sicherheitsrelevanten Systemen haben auch Systeme in das Auto Einzug gehalten, die der Fahrerinformation und der Kommunikation dienen. Stellvertretend für diese dritte Gruppe sei beispielsweise auf Navigationssysteme oder Freisprecheinrichtungen für Handys hingewiesen. Bei allen neu hinzukommenden Systemen, insbesondere bei Systemen mit hoher Fahrerinteraktion visueller und/oder manueller Art, muss sichergestellt sein, dass die Fahrsicherheit durch die Interaktion auf keinen Fall beeinträchtigt wird.

Auf die prinzipielle Gefährlichkeit von im Fahrzeug befindlichen Systemen weisen Wierwille und Tijerina (1997) hin. Anhand einer Analyse von Unfallberichten fanden die Autoren einen direkten Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und der Interaktion mit solchen Systemen. Dieser Gefährdung tragen gesetzliche Vorschriften Rechnung. Eine Kommissions-Empfehlung im Offical Journal of the European Communities (2000) zeigt die Wichtigkeit der Fahrzeugsicherheit nicht nur im nationalen, sondern auch im internationalen Kontext. In dieser Empfehlung werden die allgemeinen Anforderungen an solche Systeme im Fahrzeug genannt. An erster Stelle steht hier die Sicherheit des Fahrers. Die Systeme müssen so gestaltet sein, dass sie weder bei dem Fahrer noch bei anderen Verkehrsteilnehmern ein zu riskantes Verhalten hervorrufen. Die europäische Norm EN ISO 17287 (2003) gibt ein Rahmenwerk vor, wie neue Systeme, die den Fahrer in der primären Fahraufgabe und anderen sekundären Aufgaben unterstützen, im Sinne der Gefährdungsfreiheit auf ihre Gebrauchstauglichkeit hin überprüft werden sollen. Unter der primären Fahraufgabe werden in der EN ISO 17287 alle Aktivitäten verstanden, die zur Längs- und Querregelung notwendig sind.

Für ein kontinuierliches Testen neuer Systeme in den einzelnen Entwicklungsphasen sind verschiedene Werkzeuge entwickelt worden. Eines dieser Werkzeuge, welches unter anderem für die Testung fortgeschrittener Prototypen eingesetzt wird, ist der Fahrsimulator. Der Begriff Fahrsimulator ist recht weit gefasst und umfasst komplexe und weniger komplexe Ausführungen. Der Fahreindruck nähert sich, je nach Komplexität des Fahrsimulators, zunehmend an reales Fahren an. Als Messwerkzeug betrachtet, liefert ein Fahrsimulator die Position des Fahrzeugs, die Auslenkung des Lenkrads und seine Geschwindigkeit und Beschleunigung zu einem bestimmten Zeitpunkt. Diese Rohdaten werden in regelmäßigen Intervallen erhoben und stehen für den gesamten Fahrtverlauf als Datenreihen zur Verfügung.

Die Schwierigkeit liegt darin, anhand der genannten physikalischen Orts- und Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungsdaten Aussagen hinsichtlich der Auswirkung von sekundären Aufgaben auf die primäre Fahraufgabe zu treffen. Über viele Jahre hinweg wurden deshalb verschiedene Vorschriften entwickelt, wie sich aus diesen Rohdaten aussagekräftige Maße berechnen lassen.

Ausgehend von diesen Maßen, stehen für die Ermittlung des Einflusses von sekundären Aufgaben auf die primäre Fahraufgabe prinzipiell zwei Ansätze zur Verfügung. Zum einen können, basierend auf den abgeleiteten Maßen, Schwellwerte bestimmt werden. Ein Überschreiten oder Unterschreiten dieser Schwellwerte wird bei diesem Ansatz als Fahrfehler definiert (vgl. beispielsweise Nirschl, Böttcher, Schlag & Weller, 2004). Die Auswirkungen auf die primäre Fahraufgabe durch den Einsatz eines Fahrerinformationssystems drücken sich hier in der Anzahl der Fahrfehler aus. Eine andere Möglichkeit ist ein Vergleich zwischen einer Basisfahrt, also einer Fahrt ohne Fahrerinformationssystem, mit einer Fahrt, bei welcher das System eingesetzt wird. Die Auswirkung des Fahrerinformationssystems lässt sich hier anhand der Veränderung bestimmter Maße von der Basisfahrt im Vergleich zu der Fahrt unter Einsatz des untersuchten Systems ermitteln.

In der EN ISO 17287 (2003) findet sich eine Aufzählung an Maßen zur Längs- und Querregelung, die zur Beurteilung der primären Fahraufgabe herangezogen werden sollen. Diese Liste ist jedoch keinesfalls erschöpfend, vielmehr finden sich in der Literatur auch andere Maße, die für diese Beurteilung eingesetzt werden (vgl. Nakayama, Futami, Nakamura & Boer, 1999 oder Roskam, Brookhuis, de Waard, Carsten, Read, Jamson, Ostlund, Bolling, Nilsson, Anttila, Hoedemaeker, Janssen, Harbluk, Johansson, Tevell, Santos, Fowkes, Engström & Victor, 2002). Auch gibt es keine verbindlichen Richtlinien, wie die einzelnen Maße genau zu berechen sind, bzw. welche Bezugspunkte von Fahrzeug und Fahrbahn verwendet werden sollen (vgl. beispielsweise Green, Cullinane, Zylstra & Smith, 2004). Selbst die EN ISO 17287 (2003) macht keine Angaben zu Berechnungsvorschriften und Bezugspunkten. Östlund, Peters, Thorslund, Engström, Markkula, Keinath, Horst, Juch, Mattes und Foehl (2005) fanden zudem heraus, dass die Verwendung einzelner Maße nicht unproblematisch ist.

Die Vielzahl der existierenden Maße bzw. die Vielzahl der Berechnungsvarianten erschwert die Wahl bei der Versuchsplanung. Auf der einen Seite widerspricht die Berücksichtigung aller Maße einer effizienten Versuchsplanung. Auf der anderen Seite verwenden unterschiedliche Studien (vgl. beispielsweise Strayer & Drews, 2004; Tsimhoni, Smith & Green, 2004, oder Ranney, Harbluk & Noy, 2005) häufig eine unterschiedliche Auswahl an Maßen, was einen Vergleich zwischen den Studien erschwert. Die EN ISO 17287 (2003) zeigt sich bei der Beschreibung einiger Maße kritisch bzw. vorsichtig. So wird bei Maßen zur Querregelung eingeräumt, dass teilweise nur begrenzte Forschungsarbeit vorhanden ist. An anderer Stelle werden Verben wie „scheinen“ und „erkennen lassen“ für die Maßbeschreibung verwendet.

Neben der Wahl der geeigneten Maße, stellt sich bei dem Einsatz eines Fahrsimulators die Frage nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Realität. Der Fahrsimulator schafft eine andere visuelle Umgebung als das reale Fahren. In dem künstlich geschaffenen Abbild der Realität fehlen beispielsweise Tiefenhinweisreize, wie

die Bewegungsparallaxe. Unterschiede bestehen zumeist auch in Sichtfeld und haptischer Rückmeldung.

So überrascht es nicht, dass sich die Messwerte zwischen Fahrsimulator- und Realfahrt bei vergleichbaren Bedingungen zum Teil erheblich unterscheiden. Zahlreiche Validierungsuntersuchungen, welche Fahrten in Fahrsimulatoren unterschiedlicher Komplexität mit Realfahrten vergleichen, haben gezeigt, dass Fahrsimulatoren in den meisten Fällen relative Validität erreichen. Die erhobenen Maße zeigen also einen gleichsinnigen Trend, stimmen aber absolut gesehen nicht überein (vgl. Blana, 1996).

Während es zahlreiche Validierungsuntersuchungen zwischen Fahrsimulator- und Realfahrten gibt, sind Untersuchungen, in welchen zwei Fahrsimulatoren bezüglich der Längs- und Querregelung verglichen werden, eher selten. Dies überrascht, denn das Vorliegen von relativer Validität lässt nicht die Schlussfolgerung zu, dass zwei Fahrsimulatoren auch identische Ergebnisse liefern. Bisherige Untersuchungen finden zwischen Fahrsimulatoren unterschiedlicher Komplexität gravierende Unterschiede (vgl. beispielsweise Jamson & Mouta, 2004). Wie sich die Untersuchungsergebnisse von Fahrsimulatoren ähnlicher Komplexität zueinander verhalten, ist noch kaum untersucht.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

An einer Forschungseinrichtung können mehrere Fahrsimulatoren zum Einsatz kommen, um Engpässe zu vermeiden und Untersuchungen kosteneffektiv durchführen zu können (vgl. Triggs & Regan, 1999). Dieser Sachverhalt ist auch bei der BMW Group gegeben. Hier stehen für die entwicklungsbegleitende Beurteilung von neuen Fahrerinformationssystemen unter anderem zwei statische Fahrsimulatoren zur Verfügung, die sich vor allem in der Art der Bilddarstellung unterscheiden.

Mit der vorliegenden Arbeit sollte die Frage beantwortet werden, ob die beiden Fahrsimulatoren ähnlicher Komplexität vergleichbare Ergebnisse liefern. Zu diesem Zweck wurden an beiden Fahrsimulatoren verschiedene Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Bearbeitung von sekundären Aufgaben und Einschränkungen des Sichtfelds untersucht.

Die Experimente wurden mit einer breiten Auswahl an Maßen bzw. Berechnungsmethoden durchgeführt, um das Verhalten der Maße an den beiden Fahrsimulatoren unter diesen Einflussfaktoren untersuchen und mit anderen Ergebnissen aus der Literatur vergleichen zu können. Mit diesem Ansatz sollten gut geeignete Maße für eine effiziente Versuchsdurchführung identifiziert werden. Aus Umfangsgründen beschränkte sich die vorliegende Arbeit hierbei auf Maße zur Querregelung.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil, welcher Kapitel 2 bis 6 umfasst, erläutert die theoretischen Grundlagen:

Kapitel 2: Da das visuelle System grundlegend für die Bewältigung der primären Fahraufgabe ist, wird in Kapitel 2 eine Übersicht über die Funktionsweise des visuellen Systems gegeben. Insbesondere wird hier auf die vom visuellen System verwendeten Informationsquellen zur Tiefenwahrnehmung eingegangen, da die Tiefenwahrnehmung für ein erfolgreiches Navigieren in einer dreidimensionalen Umgebung unerlässlich ist.

Kapitel 3: Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Frage, wie der Mensch erfolgreich in einer dreidimensionalen Umwelt navigieren kann. Speziell wird hier auf die Bewältigung der primären Fahraufgabe eingegangen. Die Beeinträchtigung der primären Fahraufgabe durch die Bearbeitung von sekundären Aufgaben wird anhand des multiplen Ressourcen-modells von Wickens (1984) plausibel gemacht.

Kapitel 4: In diesem Kapitel wird der Themenkomplex Fahrsimulation abgehandelt. Nach einer Begriffsbestimmung erfolgt eine Diskussion der bereits kurz angesprochenen Validierungsproblematik.

Kapitel 5: Dieses Kapitel stellt die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Maße zur Fahrzeugquerregelung vor. Insbesondere wird hier auf die Art der Erhebung und Berechnung der Maße eingegangen. Erkenntnisse über das Maßverhalten aus der Literatur werden vorgestellt.

Kapitel 6: In diesem Kapitel wird, unter Rückgriff auf die vorangegangenen Theoriekapitel, die Zielsetzung der Arbeit beschrieben.

Im zweiten Teil der Arbeit, welcher die Kapitel 7 bis 12 beinhaltet, werden die durchgeführten Experimente beschrieben und diskutiert. Eine Gesamtdiskussion und ein Ausblick bilden den Abschluss der Arbeit.

Kapitel 7: In diesem Kapitel wird unter anderem auf die eingesetzten statischen Fahrsimulatoren eingegangen. Insbesondere werden hier die Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatoren eingehend beschrieben sowie Abweichungen gegenüber dem realen Fahren thematisiert.

Kapitel 8 bis 11: In diesen Kapiteln werden die vier durchgeführten Experimente beschrieben und diskutiert.

Kapitel 12: In diesem Kapitel erfolgt eine Gesamtdiskussion aller vier Experimente sowie ein Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten.

2 Die Menschliche Wahrnehmung

Zentral für Navigation im dreidimensionalen Raum ist die menschliche Wahrnehmung. Reize aus der Umwelt werden wahrgenommen, verarbeitet und führen zu entsprechenden Reaktionen wie Lenkbewegungen und Brems- und Beschleunigungsvorgängen. Für das Autofahren spielt das visuelle System die wichtigste Rolle (Evans, 2004). Dessen Funktionsweise soll hier zunächst erläutert werden.

2.1 Aufbau des visuellen Systems

Trotz der schlechten physikalisch-optischen Eigenschaften des Auges, ist das visuelle System des Menschen zu erstaunlichen Erkennungsleistungen in einem weiten Bereich unterschiedlicher Sichtbedingungen fähig (Birbaumer & Schmidt, 1999). Im Folgenden soll die grundsätzliche Funktionsweise des visuellen Systems erläutert werden. Die Erläuterung folgt dabei, falls nicht anders gekennzeichnet, Birbaumer und Schmidt (1999).

Das „Objektiv“ des Auges ist aus der Kornea, der vorderen Augenkammer und einer Linse zusammengesetzt. Das Licht tritt durch die Kornea ein und wird durch die Linse so gebrochen, dass ein stark verkleinertes Bild der Umwelt auf der Retina abgebildet wird. Das Ausmaß des Lichteinfalls wird durch die Iris geregelt, welche wie eine Blende die Größe der Pupille einstellt. Die Stärke der Lichtbrechung wird durch die Verformung der Linse über den Ziliarmuskel verändert.

Die Photorezeptoren, also diejenigen Zellen, welche das Licht in elektrische Nervenimpulse umwandeln, geben ihre Information über die Ganglienzellen weiter. Deren Axone bilden den Sehnerv, welcher dann die visuelle Information zum Gehirn weiterleitet. Diese Ganglienzellen liegen vor den Photorezeptoren, so dass das einfallende Licht die Schicht durchqueren muss, bevor es auf die Photorezeptoren trifft. Dieser Aufbau ist ein Hauptgrund für die genannte schlechte physikalisch-optische Qualität des Auges. Trotzdem gleicht das visuelle System des Menschen durch Aufbau und Organisation die physikalisch-optischen Mängel in erstaunlicher Weise aus.

In der Sehachse besitzt die Retina eine Eindellung, die Fovea Centralis. Dieser Ort der Retina ist die Stelle des schärfsten Sehens. Die Eindellung kommt dadurch zu Stande, dass an dieser Stelle die Ganglienzellen gleichsam zur Seite geschoben sind und so das Licht ungehindert auf die Photorezeptoren fallen kann. Ein weiterer Grund dafür, dass die Fovea Centralis der Ort des schärfsten Sehens ist, liegt darin, dass hier die Konzentration der sogenannten Zapfen am höchsten ist. Mit zunehmender Entfernung von der Fovea Centralis nimmt deren Konzentration rapide ab. Bei einem Zapfen handelt es sich um einen Photorezeptortyp, der vor allem für das Farbsehen bei Tag verantwortlich ist. Zudem besitzen die Zapfen in der Fovea Centralis besonders viele direkte Leitungen ins Gehirn, während sich die Photorezeptoren außerhalb der Fovea Centralis häufig Nervenleitungen teilen müssen.

Einen zweiten Rezeptortyp des Auges stellen die sogenannten Stäbchen dar. Die Aufgabe der Stäbchen liegt vor allem im schwarz-weiß Sehen und der Bewegungserkennung. Die Verteilung der Stäbchen und Zapfen auf der Retina kann Abbildung 2.1 entnommen werden.

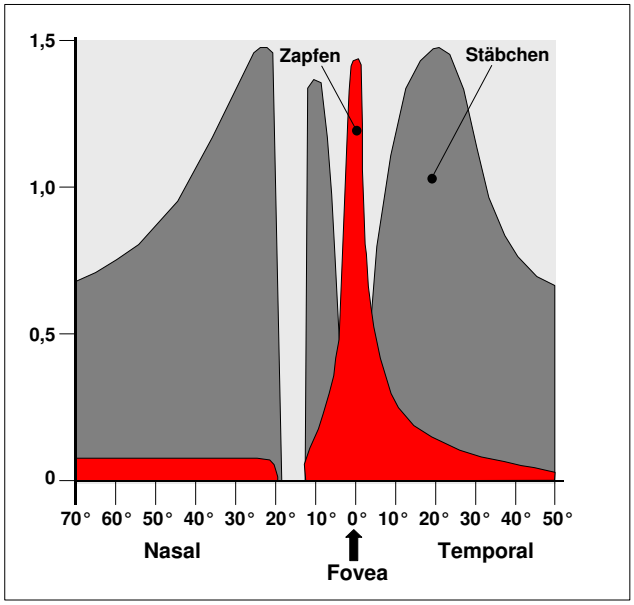

Abbildung 2.1 Konzentrationsverteilung von Stäbchen und Zapfen im menschlichen Auge (Birbaumer & Schmidt, 1999)

Der in Abbildung 2.1 ebenfalls enthaltene „Blinde Fleck“ zeichnet sich durch das Fehlen jeglicher Photorezeptoren aus. Er bezeichnet die Stelle, an welcher der Sehnerv das Auge verlässt. Aus der Konzentrationsverteilung von Stäbchen und Zapfen ist auch die in Abbildung 2.2 gezeigte Abhängigkeit der Sehschärfe vom Abstand zur Fovea Centralis einsichtig.

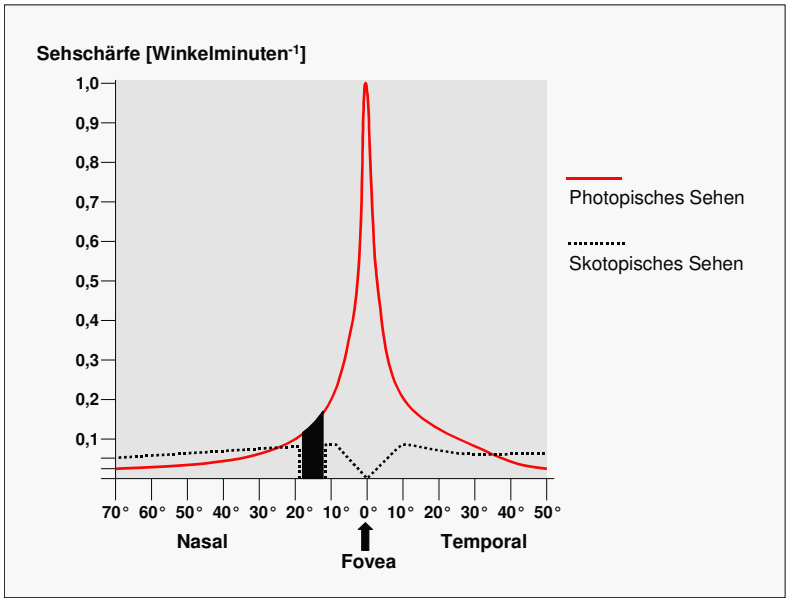

Abbildung 2.2 Abhängigkeit der Sehschärfe vom Abstand zur Fovea Centralis bei Photopischem und Skotopischem Sehen (Birbaumer & Schmidt, 1999)

Die Sehschärfe wird in erster Linie herangezogen, um das foveale Sehen zu beurteilen. Für eine Einteilung des gesamten Gesichtsfeldes ist nach Pöppel und Harvey (1973), nach Strasburger (2003), die Untersuchung der Leuchtdichteinkrementschwelle besser geeignet. Eine solche Einteilung ist in Abbildung 2.3 zu sehen.

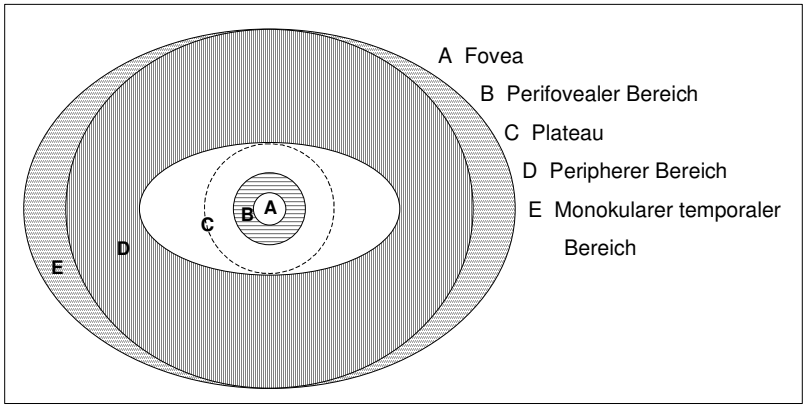

Abbildung 2.3 Schematische Darstellung des Gesichtsfeldes nach Pöppel und Harvey (1973), nach Strasburger (2003)

Der zentrale Bereich ist die Fovea (A), welche nur 1° bis 2° Sehwinkel umfasst. Die Fovea weist die höchste Empfindlichkeit für photopische Bedingungen auf. Daran anschließend, bis etwa 10°, folgt der perifoveale Bereich (B). In diesem Bereich nimmt die Schwelle mit der Exzentrizität zu, bis das Plateau (C) erreicht wird. In dem Plateau bleibt bis 20° vertikal und 35° horizontal die Empfindlichkeit gleich. Daran anschließend folgt der periphere Bereich (D), in welchem die Schwelle ansteigt bis zur Grenze des binokularen Bereichs. Eingezeichnet in Abbildung 2.3 ist noch der monokulare temporale Randbereich (E).

Wie bereits geschildert, geben die Photorezeptoren das Lichtsignal als elektrisches Impulsmuster verschlüsselt über eine Zwischenschicht an die retinalen Ganglienzellen und dann an den Sehnerv weiter. In dieser Zwischenschicht übernehmen sogenannte Horizontalzellen, Bipolarzellen und Amakrinen eine Vorverarbeitung des optischen Signals, bevor es an die retinalen Ganglienzellen und schließlich über den Sehnerv an die zentralen Sehzentren weitergeben wird. Die Verarbeitung in der Zwischenschicht ist dabei durch eine starke Signalkonvergenz gekennzeichnet, denn den 125 Millionen Photorezeptoren pro Auge stehen jeweils eine Million Ganglienzellen gegenüber, die gebündelt dann den Sehnerv bilden.

Die retinalen Ganglienzellen sind dabei in sogenannten rezeptiven Feldern organisiert. Ein solches rezeptives Feld korrespondiert mit einem entsprechenden Fleck auf der Retina. Es besteht aus dem rezeptiven Feldzentrum und dem darum liegenden retinalen Bereich, der rezeptiven Feldperipherie. Lichtreize auf das rezeptive Feldzentrum haben, je nach Art des rezeptiven Felds, entweder eine aktivierende oder eine hemmende Wirkung. Lichtreize auf die Feldperipherie haben, entsprechend der Art des rezeptiven Felds, eine dazu konträre Wirkung. Bei gleichzeitiger Reizung von Feldzentrum und Feldperipherie überwiegt die Wirkung des Zentrums.

Der geschilderte Mechanismus existiert sowohl für das Schwarz-Weiß bzw. Hell-Dunkel Sehen, als auch für das Farbsehen in der Fovea. Die Hemmung bzw. Aktivierung erfolgt hier jedoch in Abhängigkeit der Frequenz des eintreffenden Lichts. Es existieren sogenannte Rot-Grün und Gelb-Blau Neuronen, wobei Licht roter bzw. gelber Farbe im Feldzentrum eine aktivierende und Licht grüner bzw. blauer Farbe eine hemmende Wirkung besitzt. Die Größe der rezeptiven Felder ist, über die Gesamtheit der Retina gesehen, unterschiedlich. In der Fovea ist die Größe der rezeptiven Felder am kleinsten und nimmt mit zunehmender Entfernung von der Fovea immer mehr zu.

Die Axone der retinalen Ganglienzellen vereinigen sich alle im Sehnerv, welcher die elektrischen Signalmuster weiter zum Gehirn transportiert. Dabei teilt sich der vom linken bzw. rechten Auge kommende Sehnerv dergestalt auf, dass sich die Sehnerven in der sogenannten Sehkreuzung kreuzen, wobei die Sehnerven des linken Gesichtsfelds beider Augen zur rechten Gehirnhälfte geleitet werden und die des rechten Gesichtsfelds zur linken Gehirnhälfte.

Die Verbindung des Sehnervs mit dem Gehirn geschieht in sehr direkter Weise in den sogenannten seitlichen Kniehöckern. Von den Kniehöckern führt die sogenannte Sehstrahlung die visuellen Informationen zu der primären Sehrinde. Es führen jedoch nicht alle Nervenfasern des Sehnervs zu den seitlichen Kniehöckern. Einige Nervenfasern zweigen kurz nach der Sehkreuzung in die prätektale Region und die sogenannten vorderen vier Hügel ab. Diese Strukturen liegen im Hirnstamm und sind für die (unbewusste) Steuerung der Augenmuskeln verantwortlich.

Die Zielregion der Sehstrahlung in der primären Sehrinde ist retinotop organisiert. Das bedeutet, dass die Erregung einer bestimmten Stelle auf der Netzhaut mit der Erregung einer bestimmten Stelle in der primären Sehrinde korrespondiert. Diese Abbildung ist jedoch nicht proportional. Für die Verarbeitung der Signale der Fovea steht ein Gebiet zur Verfügung, welches in etwa genau so groß ist, wie dasjenige, welches der restlichen Netzhaut zur Verfügung steht. Der primäre visuelle Kortex ist in verschiedenen Schichten organisiert. Diese Organisation soll an dieser Stelle jedoch nicht tiefgehend erläutert werden. Es ist für die vorliegende Arbeit ausreichend, darauf hinzuweisen, dass einzelne Gebiete empfindlich auf bewegte Kontrastgrenzen bestimmter Orientierung reagieren und andere eher auf farbige Reize.

Nach der Verarbeitung der Signale in der primären Sehrinde folgt eine weitere Verarbeitung in den verschiedenen extrastriären visuellen kortikalen Arealen. Diese Areale haben verschiedene Aufgaben, wie die Erkennung von stationären Reizmustern, die Gestalterkennung kohärent bewegter Objekte oder die Objekterkennung aufgrund charakteristischer Oberflächenfarben und Farbkontraste. Auch diese Areale sind noch weitestgehend retinotop organisiert. Von den extrastriären kortikalen Arealen werden die Signale in visuelle Assoziations- und Integrationsregionen übertragen. Die retinotope Organisation der Signalübertragung geht hier verloren.

Die Augensteuerung erfolgt über insgesamt sechs Muskeln, die durch drei aus dem Gehirnstamm kommende Nerven angesteuert werden. Mit Hilfe dieser Muskeln ist es möglich, den Augapfel horizontal, vertikal und auch rotatorisch um die Blickachse zu bewegen. Bei der Bewegung der Augen durch diese Muskeln werden die sogenannten Vergenzbewegungen und die konjugierten Augenbewegungen unterschieden. Bei den

Vergenzbewegungen werden die Sehachsen der beiden Augen gegeneinander verschoben. Konjugierte Augenbewegungen bewegen beide Augen gleichsinnig.

Vergenzbewegungen treten immer bei der Fixation von unterschiedlich weit entfernten Punkten im Raum auf. Je näher der fixierte Punkt liegt, desto mehr müssen die Sehachsen konvergieren, um den Punkt fixieren zu können. Bei einem Punkt in der Ferne divergieren die Sehachsen und werden parallel. Bei Konvergenzbewegungen wird immer auch automatisch der Ziliarmuskel angespannt, um die Linse an den geänderten Abstand der Fixation anzupassen. Zusätzlich wird auch die Pupille verengt, was sich ebenfalls positiv auf die Bildqualität auswirkt.

Konjugierte Augenbewegungen treten beim freien Umherblicken auf: Beide Augen bewegen sich gleichsinnig zu dem jeweiligen Fixationspunkt. Diese Bewegung ist jedoch nicht stetig, sondern erfolgt in sogenannten Sakkaden. Bei einer Sakkade handelt es sich um eine ruckartige Augenbewegung in einer Größenordnung von 3 bis 90 Winkelminuten. Eine Sakkade dauert zwischen 70 und 200 Millisekunden. Größere Sakkaden werden von entsprechenden Kopfbewegungen begleitet. Zwischen jeweils zwei Sakkaden liegen Fixationsperioden, welche zwischen 0.15 und 2 Sekunden dauern. Die Verfolgung von bewegten Objekten geschieht hingegen über gleitende Augenbewegungen, vorausgesetzt die Winkelgeschwindigkeit des bewegten Objekts ist nicht zu hoch. Trotz der beschriebenen Bewegung des Kopfes und der Augen bleibt das wahrgenommene Bild der Umwelt stabil. Diese Leistung des visuellen Systems geschieht durch die Verrechnung der Muskelsignale von Kopf und Augen mit den Signalen, welche durch das auf die Retina projizierte Bild hervorgerufen werden.

2.2 Wahrnehmung der räumlichen Tiefe

Die Grundproblematik bei der Orientierung eines Menschen im Raum besteht darin, dass das visuelle System die dreidimensionale Umgebung in zweidimensionaler Art und Weise auf der Retina abbildet. Aus der zweidimensionalen Information muss auf die dreidimensionale Beschaffenheit der Umwelt geschlossen werden, um in dieser erfolgreich agieren und navigieren zu können (vgl. Hoffman, 2003). Das visuelle System muss also in der Lage sein, die Entfernung der vorhandenen Objekte in der Umgebung zu erkennen bzw. abzuschätzen. Diese Fähigkeit des visuellen Systems wird mit dem Begriff Tiefenwahrnehmung bezeichnet.

Gemäß Goldstein (2002) stehen dem visuellen System mehrere Informationsquellen für die Tiefenwahrnehmung zur Verfügung. Diese Informationsquellen lassen sich nach Goldstein (2002) wie folgt einteilen:

Okulomotorische Tiefeninformationen: Hier werden Informationen, wie die Augenstellung oder die Anspannung des Ziliarmuskels zur Beeinflussung der Linse herangezogen, um abzuschätzen, wie weit ein Objekt entfernt ist.

Monokulare Tiefeninformationen: Dies sind Tiefeninformationen, die bereits mit nur einem Auge einem unbewegten Bild entnommen werden können. Sie finden auch in der Malerei zur Erzeugung räumlicher Tiefe Anwendung (vgl. beispielsweise Metzger, 1975).

Bewegungsinduzierte Tiefeninformationen: Diese Tiefeninformationen werden aus der Bewegung des Beobachters und den ihn umgebenden Objekten zueinander ermittelt.

Stereoskopische Informationen werden aus der Verrechnung der leicht unterschiedlichen Netzhautbilder, hervorgerufen durch den Augenabstand, gewonnen.

Die folgende Beschreibung der Tiefeninformationen erfolgt, falls nicht anders gekennzeichnet, nach Goldstein (2002).

An okulomotorischen Tiefeninformationen sind die **Konvergenz** und die **Akkomodation** zu nennen. Bei der **Konvergenz** wird der Winkel der Sehachsen bei der Fixation eines Objekts, so wie er von den Augenmuskeln gemeldet wird, herangezogen, um auf die Entfernung des Objekts zu schließen. Je näher das Objekt sich am Betrachter befindet, desto mehr müssen sich die Sehachsen einwärts drehen. Der Winkel, den die Sehachsen einschließen, wird also immer stumpfer. Bei steigender Entfernung wird der Winkel immer spitzer, bis er bei einer Fixation im Unendlichen, also wenn beide Sehachsen parallel zueinander stehen, 0 Grad wird. Bei der **Akkomodation** wird die Dicke der Linse durch den Ziliarmuskel verändert, um ein fixiertes Objekt scharf auf der Netzhaut abzubilden. Das visuelle System kann die motorische Information nutzen, um aus der über den Ziliarmuskel eingestellten Dicke auf die Entfernung des aktuell fixierten Gegenstands zu schließen.

Die monokularen Tiefeninformationen sind gemäß Goldstein (2002) **Verdeckung**, **Relative Höhe im Gesichtsfeld**, **Relative Größe im Gesichtsfeld**, **Atmosphärische Perspektive**, **Gewohnte Größe von Gegenständen**, **Lineare Perspektive** und **Textur-**

gradient. Metzger (1975) nennt hier zusätzlich noch **Schatten**bildung innerhalb von strukturierten Oberflächen und den Schattenwurf von Objekten auf ihre Umgebung (Schlagschatten). Die **Verdeckung** liefert die Information, wie Objekte relativ zum Betrachter positioniert sind. Aus der Verdeckung allein lassen sich aber, wie Goldstein (2002) bemerkt, keine absoluten Entfernungsinformationen ableiten. Mit der **Relativen Höhe im Gesichtsfeld** ist gemeint, dass Objekte, die sich an höherer Position im Gesichtsfeld befinden, als weiter entfernt angesehen werden. Diese Regel für die Bewertung von Tiefe ist eng mit dem Vorhandensein einer Horizontlinie verknüpft und gilt für Objekte unterhalb der Horizontlinie. Oberhalb der Horizontlinie kehrt sich die Regel um. Hier werden Objekte mit einer höheren Position als näher gelegen angesehen. Auch die **Relative Größe im Gesichtsfeld** kann für die Einschätzung der räumlichen Tiefe eingesetzt werden. Hier nutzt das visuelle System die Tatsache, dass gleich große Gegenstände in unterschiedlichen Entfernungen auch unterschiedlich große Bereiche im Gesichtsfeld abdecken. Bei ungleich großen Gegenständen, deren Größenverhältnisse dem Betrachter dennoch bekannt sind, kann die **Gewohnte Größe von Gegenständen** herangezogen werden, um die Positionierung der Objekte zueinander abzuschätzen. Auch bei einem einzelnen Gegenstand kann die Größe des Bereichs, den der Gegenstand abdeckt, für eine Entfernungsabschätzung herangezogen werden. Die **Atmosphärische Perspektive** bezeichnet die Tatsache, dass weiter entfernte Objekte durch Staub, Wasserpartikel und ähnliches unschärfer erscheinen als nah gelegene Objekte. Eine weitere Tiefeninformation liefert die **Lineare Perspektive**. Durch die lineare Perspektive wird auf einer zweidimensionalen Fläche ein dreidimensionaler Eindruck erzeugt. Bei linearperspektivisch gezeichneten Bildern konvergieren eigentlich parallel verlaufende Linien in der Ferne und vereinigen sich in der Ferne im Fluchtpunkt. Diese Konvergenz wird für die Abschätzung der räumlichen Tiefe herangezogen. Eng verwandt mit der linearen Perspektive ist die Auswertung von **Texturgradienten**. Unter einer Textur wird eine gleichförmige Strukturierung einer Oberfläche verstanden. Am augenfälligsten wird eine Textur bzw. der Texturgradient, bei streng geometrischen Strukturen, zum Beispiel eines gekachelten Bodens mit Schachbrettmuster. Je weiter entfernt der betrachtete Teil des Bodens entfernt ist, desto dichter gepackt erscheint die gleichförmige Strukturierung bzw. desto weniger Platz deckt ein solches Strukturelement im Blickfeld ab. So gesehen ähnelt diese Tiefeninformation auch der relativen Größe im Gesichtsfeld, da mit steigender Entfernung durch die perspektivische Verzerrung die Größe eines Strukturelements immer mehr abnimmt. Texturgradienten stehen Goldstein (2002) zu Folge in der Regel auf Flächen zur Verfügung, auf denen der Beobachter steht oder sich fortbewegt.

An bewegungsinduzierten Tiefeninformationen sind die **Bewegungsparallaxe** und eng damit verwandt das **Fortschreitende Zu- oder Aufdecken von Flächen** zu nennen. Unter der **Bewegungsparallaxe** wird die Tatsache verstanden, dass weiter entfernte Objekte im Raum bei Bewegung des Beobachters eine geringere Positionsänderung auf der Retina erfahren als näher gelegene Objekte. Bei zwei Objekten im Raum lassen sich unter Einbeziehung der Geschwindigkeit der Eigenbewegung aus den Positionsänderungen der beiden Objekte bzw. der Geschwindigkeit mit der diese Positionsänderung auf der Retina erfolgt, Rückschlüsse auf die Entfernung der Objekte zueinander ziehen. Die

Bewegungsparallaxe bestimmt auch, wie schnell oder langsam sich die wahrgenommenen Flächen von überlappenden Objekten zu- oder aufdecken.

Stereoskopische Tiefeninformationen werden über die sogenannte **Querdisparation** ermittelt. Hier wird zur Ermittlung der räumlichen Tiefe ausgenutzt, dass die beiden Augen, hervorgerufen durch den Abstand voneinander, die Umwelt unter einem leicht unterschiedlichen Winkel sehen. Wird von den beiden Augen ein Punkt fixiert, dann fallen alle Punkte auf einer kreisförmigen Linie durch den fixierten Punkt auf korrespondierende Netzhautpunkte. Diese Linie wird Horopter genannt. Mit korrespondierenden Punkten auf der Netzhaut sind nicht die spiegelsysmmetrisch korrespondierenden Punkte mit der Nase als Spiegelachse gemeint, sondern diejenigen Punkte, die zusammenfallen, wenn die eine Netzhaut gedanklich über die andere gelegt würde. Punkte vor dem Horopter werden auf den äußeren Randbereichen der Retina, Punkte hinter dem Horopter auf den inneren Bereichen zur Nase hin abgebildet. Diese Abbildung der Punkte auf nicht korrespondierende Punkte der Retina wird Querdisparation genant. Das visuelle System verrechnet diese Information und nutzt sie zum Stereosehen. Sie ist neben der Konvergenz die einzige Tiefeneinformation, welche zwingend zwei Augen voraussetzt.

Metzger (1975) nennt als weitere Tiefeninformation noch den **Schatten**wurf innerhalb von Oberflächen und den Schlagschatten von Objekten. Der Schattenwurf innerhalb von Objekten erleichtert es, vor allem bei etwas weiter entfernten Objekten Tiefen und Erhebungen in der Oberflächenstruktur wahrzunehmen. Metzger (1975) misst dem Schattenwurf innerhalb von Objektflächen eine größere Bedeutung für die Tiefenwahrnehmung bei als den Schlagschatten. Gemäß Hoffman (2003) spielen Schlagschatten aber durchaus eine Rolle, wenn es darum geht Objektbewegungen im Raum zu interpretieren. Die menschliche Wahrnehmung geht dabei offensichtlich von der Prämisse aus, dass vorhandene Lichtquellen stationär sind. Schatten geben darüber hinaus wichtige Informationen über die dreidimensionale Beschaffenheit von Objekten (Zimbardo, 1992).

Die genannten Tiefeninformationen sind jeweils nur in bestimmten Entfernungsbereichen zum Beobachter verfügbar. Goldstein (2002) zitiert hierzu Cutting und Vishton (1995). Die Akkomodation und Konvergenz sind nur in einem Nahbereich zwischen 0 und zwei Metern wirksam. Birbaumer und Schmidt (1999) nennen für die Konvergenz einen Bereich bis sechs Metern. Bewegungsparallaxe und Querdisparation spielen im Nahbereich und in einem mittleren Sichtbereich zwischen zwei und 30 Metern eine Rolle. Verdeckung und die relative Größe im Gesichtsfeld spielen über den gesamten Entfernungsbereich eine Rolle. Die relative Höhe im Gesichtsfeld wird erst ab einem mittleren Entfernungsbereich herangezogen. Die atmosphärische Perspektive wird erst im Fernbereich wirksam.

Je nach Entfernungsbereich wird also eine andere Untermenge der genannten Tiefeninformationen vom visuellen System herangezogen, um aus der zweidimensionalen Projektion der Umwelt auf die Retina eine dreidimensionale Umwelt zu rekonstruieren. Welche der einzelnen Informationen in welchem Ausmaß bzw. mit welcher Gewichtung unter verschiedenen Bedingungen herangezogen werden, ist gemäß Goldstein (2002) ungeklärt.

2.3 Auditorische, vestibuläre und propriozeptive Wahrnehmung

Neben der visuellen Wahrnehmung spielen auch andere Sinneskanäle für das Autofahren eine Rolle, aber in weitaus geringerem Maße. Während den Muskeln und den darin befindlichen Propriozeptoren eine wichtige Rolle bei der Ausführung der Steuerkommandos über Lenkrad sowie Gas- und Bremspedal zukommt, spielen diese bei der Rückmeldung nur eine untergeordnete Rolle. Hier stehen als sensorische Informationen auf eine durchgeführte Lenkbewegung die Rückstellkräfte des Lenkrades zur Verfügung oder der Widerstand des Bremspedals.

Die vestibulären Sinnesorgane liefern Informationen über die Lage des eigenen Körpers im Raum und sind in der Lage, wirkende Beschleunigungskräfte wahrzunehmen. Diese Art der Wahrnehmung liefert vor allem Rückmeldung bei dem Durchfahren von Kurven. Der Fahrer kann mit Hilfe der vestibulären Wahrnehmung einschätzen, ob die aktuell gewählte Geschwindigkeit für den Kurvenradius angemessen ist oder nicht. Noch stärker als bei dem Durchfahren von Kurven wirken Beschleunigungskräfte bei Bremsvorgängen auf den Fahrer ein und liefern so zusätzliche Informationen über deren Stärke.

Über die auditorische Wahrnehmung kann ein Autofahrer anhand des Motorgeräusches Rückmeldung über die aktuelle Fahrgeschwindigkeit erhalten. Neben der offensichtlichen Warnfunktion der Autohupe kann auch das Fahrgeräusch anderer Verkehrsteilnehmer dem Fahrer Informationen über das Verkehrsgeschehen liefern. Viele verschiedene Sinnesnerven laufen im blickmotorischen Zentrum zusammen, so auch ein Teil der Hörnerven. Dadurch ist der Mensch in der Lage, Blickzuwendungen auf Grund von Geräuschen zu veranlassen. Sogar in einem vollständig abgedunkelten Raum kann der Mensch eine Geräuschquelle mit den Augen verfolgen (vgl. Birbaumer & Schmidt, 1999).

3 Autofahren und Querregelung

Im vorangegangenen Kapitel wurden die Grundlagen des visuellen Systems und die Kriterien, welche das visuelle System zur Tiefenwahrnehmung heranzieht, erläutert. Diese Erläuterungen gingen eher von einem im Raum unbewegten Beobachter aus. Eine solche statische Tiefenwahrnehmung reicht aber alleine nicht aus, um erfolgreich in einer dreidimensionalen Umgebung navigieren zu können. Insbesondere spielt das Navigieren auch für das Autofahren eine entscheidende Rolle. Daher sollen in den folgenden Abschnitten einige Erklärungsansätze erläutert werden, wie das visuelle System diese Navigationsaufgabe bewältigt.

3.1 Visuelle Wahrnehmung und Querregelung

3.1.1 Optischer und Retinaler Fluss

Als wesentlich für die Steueraufgabe im Allgemeinen wird der optische Fluss angesehen. Dieser von Gibson vorgeschlagene Ansatz definierte den optischen Fluss als die Bewegung aller auf eine feste Bildebene projizierten Bildpunkte bei Vorwärtsbewegung des Beobachters (Gibson, 1950 in Wilkie & Wann, 2002). Chatziastros (2003) veranschaulicht den optischen Fluss vereinfachend an einem Beispiel: „*Optischer Fluss ist das, was man auf einer Fotografie sieht, wenn man die Kamera vor das Auge hält, die Blende öffnet, einen Schritt nach vorne macht und die Blende wieder schließt“(S.4)*.

Fallen bei geradliniger Bewegung Bewegungsrichtung und Blickrichtung zusammen, ist das Flussfeld radial und alle Flussvektoren entspringen einem gemeinsamen Expansionsfokus. Dieses Flussfeld mit dem dazugehörigen Expansionsfokus kann dazu verwendet werden, bei dem Zusteuern auf ein bestimmtes Ziel, den Kurs beizubehalten. Dazu muss dafür gesorgt werden, dass der Expansionsfokus und das Ziel der Bewegung zusammenfallen. Damit reicht alleine die Auswertung der Eigenschaft des Flussfeldes, um eine geradlinige Steueraufgabe zu bewältigen. Eine interne Repräsentation der Umwelt ist nicht notwendig. Dies erklärt, weshalb ein Organismus auch in der Lage ist, in unbekannter Umgebung erfolgreich zu navigieren.

Gibsons Ansatz des optischen Flusses hatte und hat einen großen Einfluss auf die Forschung. Allerdings ist dieser Ansatz nur gültig, wenn das gesamte Blicksystem des Menschen als starr angesehen wird, also weder Augen noch Kopfbewegung entkoppelt von einer Änderung der Bewegungsrichtung stattfinden (vgl. beispielsweise Warren, Mestre, Blackwell & Morris, 1991 oder Wilkie & Wann, 2002). In der Realität finden jedoch Augen und Kopfbewegungen statt, die von der Bewegungsrichtung entkoppelt sind. In diesem Fall stimmt die Bewegungsrichtung nicht mehr mit dem Fokus der Expansion überein. Da Blickrichtung und Bewegungsrichtung entkoppelt sind, kann zur Erklärung auch nicht mehr eine feste Bildebene angenommen werden. Bildebene ist im allgemeinen Fall die Retina, weswegen hier vom retinalen Fluss gesprochen wird.

Die Flussbilder auf der Retina für geradlinige oder kurvige Bewegungen können bei gleichzeitigen Blickbewegungen zweideutig sein. So ist beispielsweise das retinale Flussfeld, welches entsteht, wenn bei geradliniger Bewegung eine Blickbewegung abseits

der Bewegungsrichtung durchgeführt wird, gleich demjenigen bei kurviger Bewegung und starrem vorwärtsgerichteten Blick (vgl. beispielsweise Wilkie & Wann, 2002).

Anfangs richtete sich die Forschung vor allem auf die Frage, wie die aktuelle Bewegungsrichtung aus dem Flussfeld ermittelt werden kann (vgl. beispielsweise Warren et al., 1991).

Lappe, Bremmer und van den Berg (1999) schließen in einer Zusammenschau von Forschungsergebnissen unterschiedlicher Autoren, dass die Bewegungsrichtung aus dem retinalen Fluss ermittelt werden kann. Extraretinale Informationen aus Kopf und Augenbewegungen werden jedoch herangezogen, um zweideutige Flussinformationen aufzulösen. Die Autoren stützen ihre Ansicht mit der Nennung von Experimenten an Primaten, deren Kortex sowohl flussempfindliche als auch bewegungsempfindliche Areale ausweist. Gleichzeitig weisen die Autoren darauf hin, dass der Mensch in der Lage ist, viele verschiedene Hinweisreize zu nutzen. Die Autoren nennen hier die Auswertung von monokularen Tiefenhinweisreizen bezüglich von Objektbewegungen und statische Hinweisreize, wie sie speziell beim Autofahren durch die Spurmarkierungen gegeben sind.

Während Lappe et al. (1999) den Schwerpunkt in ihrer Zusammenschau auf den retinalen Fluss und die Ermittlung der Bewegungsrichtung aus selbigem legen, spielt bei Wann und Land (2000) in einer ähnlichen Zusammenschau neben Flussinformationen die Blickrichtung (visual direction) eine wesentliche Rolle. Mit Blickrichtung meinen die Autoren in diesem Zusammenhang die Richtung des Blickes relativ zur Bewegungsachse (locomotor axis). Die Bewegungsachse wird im Falle der Fortbewegung zu Fuß durch die Ausrichtung des Körpers und im Falle des Autofahrens beispielsweise durch den Rahmen der Windschutzscheibe oder der Motorhaube definiert. Der Winkel zwischen der Bewegungsachse und der Blickrichtung bei dem Fixieren eines Ziels kann als Informationsquelle für das Steuern herangezogen werden. Eine einfache Steueranweisung wäre zum Beispiel, den Winkel zwischen Bewegungsachse und fixiertem Ziel auf Null zu reduzieren. In diesem Fall wird genau das Ziel angesteuert. Diese einfache Regel ist in der Praxis natürlich nicht durchsetzbar, da es Beschränkungen in Form des Straßenverlaufs gibt. Die Autoren vermuteten außerdem, dass der Ermittlung der aktuellen Bewegungsrichtung aus dem Flussfeld nicht zwingend eine herausragende Bedeutung zukommen muss, sondern die Steueraufgabe auch über die Auswertung der Blickrichtung erfolgen kann.

Die Rolle von Flussinformationen und die Rolle eines visuellen Bezugspunktes beim Fixieren eines exzentrischen Ziels, auf das in einer Kurve zugesteuert werden musste, wurde von Wilkie und Wann (2002) untersucht. Die Flussinformationen wurden hier durch eine Bodentextur erzeugt, der visuelle Bezugspunkt durch die Einblendung der Kühlerfigur einer bekannten Automarke. Die Flussinformationen und der visuelle Bezugspunkt wurden systematisch leicht verfälscht dargestellt, um die Auswirkung dieser Einflussgrößen auf das Steuerverhalten zu ermitteln. Mit verfälscht dargestellt ist hier gemeint, dass sich Flussinformation oder visueller Bezugspunkt anders verhielten, als es der Steuereingabe des Probanden entsprach. Die Autoren variierten den Fluss, ohne dass ein visueller Bezugspunkt gegeben war. Gleichzeitig wurde die Helligkeit systematisch verringert. Es zeigte sich, dass bei sinkender Helligkeit die Steuerfehler immer mehr abnahmen, was als Beleg dafür gesehen wurde, dass für die Steueraufgabe eher die

extraretinalen Informationen durch die Fixation des exzentrischen Zieles herangezogen wurden, statt der verfälscht dargestellten Flussinformationen. Es zeigte sich, dass für die Steueraufgabe alle drei Quellen, also Flussinformation, visueller Bezugspunkt und extraretinale Information, in Abhängigkeit von den dargebotenen Bedingungen herangezogen werden. Aus den Ergebnissen folgerten die Autoren, dass, falls ein visueller Bezugspunkt vorhanden ist, dieser die dominante Bezugsquelle darstellt. Trotzdem trägt auch hier die Flussinformation noch etwas zur Querregelung bei.

Wie das visuelle System die Zweideutigkeiten im retinalen Fluss auflöst und die verschiedenen Hinweisreize integriert, um daraus die aktuelle Bewegungsrichtung oder Hinweise für die eigentliche Steueraufgabe zu gewinnen, ist jedoch immer noch Gegenstand der Forschung, wie neuere Veröffentlichungen zu dem Thema zeigen (vgl. beispielsweise Li, Sweet & Stone, 2006 oder Loomis, Beall, Macuga, Kelly & Smith, 2006).

Neuere Kernspinuntersuchungen am Menschen zeigen erste Ergebnisse, an welchen Orten im menschlichen Gehirn retinale Flussinformationen und Kopfbewegungen verarbeitet werden (vgl. Goossens, Dukelow, Menon, Vilis & van den Berg, 2006). Diese Untersuchungen stellen aber erst den Anfang dar, das genaue Zusammenspiel der verschiedenen Informationsquellen bei der Steueraufgabe auf neuronaler Ebene zu erklären.

3.1.2 Spreizwinkel und Spurmarkierung

Neben dem optischen bzw. retinalen Fluss gibt es noch andere Erklärungsmöglichkeiten, wie das visuelle System speziell im Falle des Autofahrens die Steueraufgabe bewältigen kann. Es gibt Hinweise, dass der sogenannte Spreizwinkel herangezogen wird, um die Lenkaufgabe zu bewältigen, wenn entlang einer durch Markierungen begrenzten Spur gefahren wird. Als Spreizwinkel wird der Winkel bezeichnet, der durch die auf eine gedachte feste Bildebene projizierten Spurmarkierungen und der Vertikalen gebildet wird. Ändert der Fahrer den Abstand zur Seitenlinie, ändert sich auch der Spreizwinkel (vgl. Beall & Loomis, 1996).

In einem Versuch zeigten Beall und Loomis (1996), dass der Spreizwinkel der Bewegungsparallaxe bei der Aufgabe überlegen ist, auf einer Geraden die Spur zu halten. Dazu wurden in einem Fahrsimulator nur schmale, 1,15° breite Bänder der Fahrszene gezeigt. Diese Fahrszene bestand in der Bedingung ‚Spreizwinkel' nur aus der Spurmarkierung selbst, insbesondere waren keine Flussinformationen in Form einer Bodentextur oder ähnlichem vorhanden. Unter der Bedingung ‚Bewegungsparallaxe' wurde die Spur durch zwei Pfosten gekennzeichnet. Mit der Bewegungsparallaxe ist hier natürlich nicht die durch die Kopfbewegung hervorgerufene Bewegungsparallaxe gemeint, sondern diejenige, welche aus der simulierten Vorwärtsbewegung resultiert. Damit die Spurhalteaufgabe nicht zu einfach war, wurden Seitenwinde simuliert, die den Probanden zu Lenkkorrekturen zwangen. Die Variation der Lage des gezeigten Bandes von ‚Nah' (10m) über ‚Mittel' (50m) zu ‚Fern' (100m) zeigte, dass die Querregelung bei der Bedingung ‚Spreizwinkel' relativ stabil blieb, aber bei der Bedingung ‚Bewegungsparallaxe' dramatisch abfiel. Eine Hinzunahme von Flussinformation als zusätzliche

Bedingung brachte eine wesentliche Verbesserung bei der Bedingung ‚Bewegungsparallaxe', nicht aber bei der Bedingung ‚Spreizwinkel'.

Dass die Spurmarkierung bei einer kurvigen Straße allein zur Querregelung ausreicht, zeigt eine Untersuchung von Land und Horwood (1995). Diese hatte zum Ziel herauszufinden, welche Bereiche einer Straße wichtig für die Fahrzeugsführungsaufgabe sind. Anders als bei Beall und Loomis (1996) wurde hier jedoch eine kurvige Straße simuliert. Als Bedingung wurden hier ein oder mehrere 1° hohe vertikale Segmente der Straße angezeigt bzw. variiert und die Güte der Querregelung ermittelt. Die Segmente wurden in einem Bereich zwischen einem und zehn Grad unter dem Horizont angezeigt. Das horizontale Sichtfeld betrug 40°, die Fahrgeschwindigkeit war konstant 61 km/h. Die Darstellung beschränkte sich auf eine weiße Spurmarkierung auf schwarzem Grund ohne jede Textur, so dass keinerlei Flussinformationen vorhanden waren. Eine qualitative Verhältnisbetrachtung der Querregelung bei vollständiger Sichtbarkeit zur Querregelung bei nur einem angezeigten Segment zeigte, dass die Querregelung hier in einer mittleren Position zwischen 5° und 6° unterhalb des Horizonts am besten war. Eine noch bessere Querregelung konnte erreicht werden, wenn zwei Segmente angezeigt wurden und zwar jeweils im nahen und fernen Bereich. Dies wurde als Beleg dafür gesehen, dass entfernte Teile Informationen über die Straßenführung liefern und der Nahbereich für eine akkurate Querregelung sorgt. Da bei dieser Untersuchung auch die Augenbewegungen aufgezeichnet wurden, konnte nachgewiesen werden, dass der Nahbereich nur selten fixiert wurde, also meistens peripher wahrgenommen wurde.

Chatziastros, Wallis und Bülthoff (1999) führten eine Replikation des Experiments von Land und Horwood (1995) durch. Allerdings kamen hier eine bessere Grafik bei der Bildgebung und ein Lenkrad mit dynamischer Rückmeldung zum Einsatz. Mit diesem Versuchsaufbau konnten die Ergebnisse von Land und Horwood (1995) nicht repliziert werden. Es wurde nach Aussage der Autoren kein signifikantes Ergebnis für ein Optimum bei einem sichtbaren Segment gefunden. Allerdings muss hier angemerkt werden, dass sich die Aussage von Land und Horwood (1995) gar nicht auf eine Signifikanzbetrachtung stützte, sondern durch eine Verhältnisbetrachtung von einer Fahrt mit uneingeschränkter Sicht zur Fahrt mit eingeschränkter Sicht. Diese Verhältnisbetrachtung ist etwas unglücklich, da die Darstellung der Verhältniswerte in einem linearen Koordinatensystem Unterschiede zwischen den Werten überhöht. Stellte man die Ergebniswerte von Chatziastros et al. (1999) in einer solchen Art und Weise dar, so würde hier wohl ein Optimum zwischen sieben und acht Grad gefunden werden. Allerdings konnten auch die signifikanten Verbesserungen eines zusätzlichen nahen bzw. fernen Segments, zumindest für die von den Autoren verwendete Kurvigkeit, nicht bestätigt werden. Da von Land und Horwood (1995) in ihrer Veröffentlichung leider keine Angaben zur Kurvigkeit gemacht wurden, ist es schwierig, an dieser Stelle weitere Schlüsse zu ziehen. Chatziastros et al. (1999) folgerten, dass sich die Fahrer vorwiegend auf das nahe Segment verließen und keine Vorteile aus der Darbietung eines fernen Segments zogen. In einer weiteren Bedingung prüften Chatziastros et al. (1999) die Wirkung von Flussinformationen in Form einer Bodentextur der dargestellten Straße. Diese Bedingung wurde an dem für die Replikation verwendeten Monitor und an einer Projektionsleinwand getestet. Interessanterweise zeigte sich, dass bei der Darbietung am Monitor die Querregelung durch Darbietung der Bodentextur verbessert werden konnte. Bei der Projektion, welche

verglichen mit dem Monitor über eine geringere Auflösung und einen geringeren Kontrast verfügte, blieb diese Verbesserung aus.

Die Qualität des dargebotenen Flusses scheint also eine Rolle zu spielen. Ähnlich wie bei Beall und Loomis (1996) zeigte das Darbieten von Flussinformationen in niedriger Qualität keine Verbesserung in der Querregelung. Als weitere Erklärungsmöglichkeit für das bessere Abschneiden des Monitors gaben Chatziastros et al. (1999) an, dass der Monitorrahmen einen starken Referenzrahmen abgab und somit die Querregelung erleichterte, wie es auch Wann und Land (2000) propagierten.

Welch starker Hinweisreiz die Spurmarkierung darstellt, deutete auch der Versuch von McKnight, McKnight und Tippets (1998) an. Diese Studie untersuchte den Einfluss der Spurmarkierungsbreiten und des Kontrastes zwischen Spurmarkierung und Straße mit Hilfe eines Fahrsimulators. Die Kontraste wurden über die Farbwerte der Spurmarkierung eingestellt, so dass die Straße immer die selbe Leuchtdichte behielt. Inwieweit Flussinformationen eine Rolle spielten, ist aus der Veröffentlichung schwer herauszulesen. Die Rede ist im Bezug auf den Straßenbelag von beinahe schwarz und variierenden Schattierungen von Dunkelgrau. In welchem Detail die Umgebung abseits der Straße dargestellt wurde, ist nicht in der Beschreibung vorhanden. Es kann sich aber um keine einfache Fahrszenerie wie zum Beispiel bei Land und Horwood (1995) gehandelt haben, denn die Autoren erwähnen extra, dass kein Fremdverkehr für diesen Versuch konfiguriert wurde, da dieser nicht gleichmäßig genug auf alle Bedingungen verteilt werden konnte. Die Untersuchung zeigte, dass der Kontrast zwischen Straße und Spurmarkierung bei der Querregelung nur bei sehr geringen Kontrastwerten, wie sie höchstens bei Nachtfahrten mit nasser Fahrbahn auftreten, eine Rolle spielten. Die Breite der Spurmarkierung hatte ebenfalls nur bei sehr geringen Kontrastwerten einen Einfluss.

Owens und Tyrrell (1999) testeten in einer sehr ähnlichen Untersuchung unterschiedliche Stufen von Leuchtdichte und Sehschärfe. Bei der Fahrszene handelte es sich nur um eine weiße Horizontlinie und weiße Spurbegrenzungspfosten auf rein schwarzem Grund, wodurch bei diesem Experiment keine Flussinformationen durch Bodentextur wohl aber durch die Spurbegrenzungspfosten vorhanden waren. Die Kontraständerung wurde hier durch Änderung an der Helligkeitseinstellung des Monitors erreicht. Ähnlich den Ergebnissen von McKnight et al. (1998) fanden sich hier nur signifikante Verschlechterungen in der Querregelung bei der niedrigsten getesteten Leuchtdichte von 0,003 cd/m^2. Die Variation der Sehschärfe zwischen 0 und 10 Dioptrien führte zu keiner signifikanten Verschlechterung der Querregelungsleistung. Durch die Darstellung der Spurmarkierung mit weißen senkrechten Pfosten ist bei diesem Experiment der Spreizwinkel nicht mehr so klar gegeben und ähnelt eher der Bedingung Bewegungsparallaxe bei dem Experiment von Beall und Loomis (1996). Interessanterweise berichten Owens und Tyrrell (1999) dass einige Probanden äußerten, das Steuern sei bei der Bedingung mit geringer Sehschärfe leichter gewesen, weil durch die unscharfe Bilddarstellung die diskreten Begrenzungspfosten eher wie Straßenmarkierungen ausgesehen hätten. Einschränkend muss zu diesem Experiment auch gesagt werden, dass die Steuerung nicht durch ein Lenkrad, sondern über einen Joystick erfolgte. Die Stichprobe setzte sich bei diesem Experiment lediglich aus neun Probanden zusammen. Bei vier der neun Probanden konnten aus technischen Gründen nicht alle Daten erhoben werden, so dass sich die Auswertung nur auf fünf Probanden stützte.

Das eingangs erwähnte Experiment von Beall und Loomis (1996) weist auf die Wichtigkeit des Spreizwinkels bei geraden Strecken hin. Hinweise darauf, wie die Spurmarkierung für die Querregelung bei einer Kurvenfahrt herangezogen wird, fanden Land und Lee (1994). Sie fanden heraus, dass beim Fahren von Kurven überwiegend der innere Tangentenpunkt fixiert wird. Die Autoren vermuten, dass durch die Fixation des Tangentenpunkts der weitere Kurvenverlauf gut vorhergesagt werden kann. Weiterführende Untersuchungen von Underwood, Chapman, Crundall, Cooper & Wallén (1999) zeigten, dass das Ausmaß der Fixationen des Tangentenpunkts davon abhängt, ob die betreffende Kurve offen oder geschlossen ist, also ob der weitere Fahrtverlauf nach der Kurve sichtbar ist oder nicht. Außerdem fanden sie heraus, dass die Fixationshäufigkeit abhängig von der Fahrerfahrung der Probanden war. Fahranfänger fixierten den Tangentenpunkt wesentlich häufiger als fortgeschrittene Fahrer. In offenen Kurven wurde der Tangentenpunkt seltener fixiert. Stattdessen erfolgten mehr Fixationen des weiteren Fahrtverlaufs zur Gefahrenerkennung nach der Kurve.

3.1.3 Querregelung und peripheres Sehen

Die bereits genannte Untersuchung von Land und Horwood (1995) deutete an, dass peripheres Sehen bei der Querregelung eine Rolle spielt, da hier der Nahbereich peripher wahrgenommen wurde und für eine Verbesserung der Querregelung sorgte. Auch das Blickverhalten bei Geradeausfahrt spricht dafür, dass der Nahbereich eher peripher verarbeitet wird. Land und Lee (1994) fanden in ihrer Blickuntersuchung heraus, dass bei geraden Strecken überwiegend ein Punkt auf der Strasse, knapp unterhalb des Fluchtpunktes, fixiert wird. Die im vorherigen Abschnitt geschilderte Untersuchung von Underwood et al. (1999) könnte als ein Hinweis darauf gesehen werden, dass fortgeschrittene Fahrer gelernt haben, die für die Kurvennavigation wichtige Information des Tangentenpunkts peripher zu verarbeiten.

Auch die Tatsache, dass Flussinformationen einen Beitrag zur Querregelung leisten (vgl. Wilkie & Wann, 2002 oder Chatziastros et al., 1999), lässt vermuten, dass das periphere Sehen eine Rolle bei der Querregelung spielt. Diese Flussinformationen werden über die gesamte Retina verteilt wahrgenommen. Allerdings konnten Chatziastros et al. (1999) mit verbesserter Grafik den Befund von Land und Horwood (1995), dass der Nahbereich eine Verbesserung der Querregelung mit sich bringt, nicht replizieren. Groeger (2001) weist darauf hin, dass das Blick- und Fixationsverhalten darüber hinaus von der Komplexität der Fahrszene sowie der Fahraufgabe abhängt.

Weitere Hinweise auf die Rolle des peripheren Sehens lieferten Summala, Nieminen und Punto (1996). Sie führten ein Experiment durch, bei welchem Fahranfänger und fortgeschrittene Fahrer in Realfahrten auf einem abgesperrten Gelände einen Lastwagen möglichst nur mittels peripheren Sehens in der Spur halten sollten. Die foveale Fixierung wurde dabei anhand von drei unterschiedlichen Displaypositionen variiert. Die drei Positionen waren die untere Kante der Windschutzscheibe, rechts neben dem Tacho und rechts unten in der Mittelkonsole. Der resultierende Winkel zwischen der Position des Displays und der normalen Sehrichtung beim Fahren betrug 7°, 23° und 38°. Auf den Displays wurden als weitere Bedingung vier verschiedene Aufgaben präsentiert, die das Nennen der Zahlen (Aufmerksamkeitsaufgabe) und das Vornehmen von Berechnungen

auf Basis dieser Zahlen (Berechnungsaufgabe) umfassten. Die Fahrt erfolgte auf einer gepflasterten Militärstraße in einer drei Meter breiten Spur mit einer durchgängigen, 10cm breiten Spurmarkierungslinie. Die Fahrtgeschwindigkeit betrug, wahrscheinlich auch aus Sicherheitsgründen, lediglich 30 km/h.

Es zeigte sich, dass sich bei den Aufmerksamkeitsaufgaben die Querregelung der Fahranfänger bereits für die Fixierung des Displays mit der Anbringung unter dem 23° Winkel verschlechterte, während sich die Fahrleistung der fortgeschrittenen Fahrer erst bei 38° verschlechterte. Dieses Ergebnis wird als Bestätigung dafür gesehen, dass Fahranfänger zunächst in hohem Maße foveales Sehen für die Querregelung einsetzen, bevor sie mit größerer Fahrpraxis lernen, peripheres Sehen effizient zu verwenden. Für die arithmetische Aufgabenbearbeitung zeigte sich keine derartige Verschlechterung. Anfänger und fortgeschrittene Fahrer kamen gleichermaßen mit der Steueraufgabe zurecht, wobei die Fahrleistung gegenüber der Aufmerksamkeitsaufgabe tendenziell sogar besser war. Die Autoren vermuteten, dass dies gemäß des Ressourcenmodells von Wickens (1984), auf welches in Abschnitt 3.2.2 noch genauer eingegangen wird, daran liegen könnte, dass die Berechnungsaufgabe nicht die volle visuelle Aufmerksamkeit beanspruchte und einen anderen Verarbeitungstyp hatte.

Murata (2004) zeigte, dass der Bereich des peripheren Sehens, in welchem visuelle Information wahrgenommen und verarbeitet werden kann, je nach Einflussfaktoren, zwischen 4 Grad und 30 Grad schwanken kann. In einem Versuch konnte er nachweisen, dass dieser periphere Bereich, auch funktionales Sichtfeld genannt, in Abhängigkeit von der Komplexität einer foveal präsentierten Rechenaufgabe, eingeengt wurde. Diese Einengung des Bereichs des peripheren Sehens wird auch als Tunnelsicht bezeichnet. Auch Crundall, Underwood und Chapman (1999) berichteten von diesem Effekt bei der Präsentation von Fahrszenen unterschiedlicher Komplexität. Je höher die Komplexität der Fahrszene war, desto ausgeprägter war auch der Effekt der Tunnelsicht. Atchley und Dressel (2004) stellten fest, dass Tunnelsicht bereits bei bloßer Konversation auftritt. Insgesamt belegen diese Untersuchungen, dass eine kognitive Aufgabe Auswirkungen auf das funktionale Sichtfeld haben kann.

In der ebenfalls bereits genannten Studie von Owens und Tyrrell (1999) wurde neben Leuchtdichte und Unschärfe der Einfluss von extremer Tunnelsicht mit einem Sichtfeld von nur 1,78° getestet. Es wurde vermutet, dass die Querregelung stark von dem optischen Fluss in der Peripherie abhängig ist und daher stark beeinträchtigt werden sollte. Tatsächlich zeigte sich hier ein großer Effekt. Allerdings war, wie bereits erwähnt, die Darstellung der Fahrszene minimalistisch. Die Spurmarkierung bestand lediglich aus weißen Längsbalken.

3.1.4 Nichtvisuelle Einflüsse auf die Querregelung

In Abschnitt 2.3 wurde bereits erwähnt, dass auch nicht visuelle Wahrnehmung einen Einfluss auf die Fahraufgabe haben kann. Im Folgenden sollen in Kürze Forschungsergebnisse zu diesem Themenkreis vorgestellt werden.

In einem Überblick über den Forschungsstand schreiben Kemeny und Panerai (2003), dass der Einfluss von vestibulären und propriozeptiven Mechanismen auf die Querregelung noch nicht vollständig geklärt ist. So gibt es den Autoren zu Folge bei entsprechenden Untersuchungen an Fahrsimulatoren Hinweise, dass bei Vorliegen von Fliehkräften während des Kurvenfahrens, Kurven eher mit größerem Radius ausgefahren werden.

Wilkie und Wann (2005) fanden in einem Versuch, bei dem systematisch der retinale Fluss, der Blickwinkel und die vestibuläre Information variiert bzw. verfälscht wurden, heraus, dass die vestibuläre Information minimalen bis keinen Effekt auf die Steuerleistung hatte. Der retinale Fluss und der Blickwinkel hatten hingegen, wie bereits in einem früheren Experiment der Autoren (Wilkie & Wann, 2002), einen großen Einfluss auf die Steueraufgabe.

3.2 Kognitive Modelle zum Autofahren

Wie die vorherigen Abschnitte gezeigt haben, ist noch nicht vollständig geklärt, wie das visuelle System die komplexe Fahraufgabe bewältigt. Da es bislang nicht möglich ist, die Vorgänge im Gehirn direkt und bis in die letzte Einzelheit zu beobachten, wurden in langer Forschungsarbeit Modelle entwickelt und in empirischen Untersuchungen überprüft.

Wie Hugunenin und Rumar (2001) anmerken, ist es jedoch bisher nicht gelungen, ein vollständiges bzw. umfassendes Modell des Fahrers zu erstellen. Alle existierenden Modelle behandeln nur Teilaspekte. Sie beziehen sich bei ihrer Aussage auf psychologische Modelle, welche Konstrukte wie Risikoverhalten beinhalten, aber auch auf analytische systemorientierte Modelle. Diesen Standpunkt vertreten auch Peters und Nilsson (2005), welche einen guten Überblick über die Modellentwicklung des Autofahrens bieten.

Ein wichtiges und oft zitiertes Modell zur Beschreibung der kognitiven Handlungssteuerung des Menschen stammt von Rasmussen (1983). Dieses Modell geht davon aus, das die Handlungssteuerung, je nach Aufgabe und Grad der Übung, auf drei hierarchisch angeordneten Ebenen stattfinden kann. Diese drei Ebenen sind die wissensbasierte, die regelbasierte und die fähigkeitsbasierte Ebene. Während die kognitive Verarbeitung auf der fähigkeitsbasierten Ebene minimal ist und Handlungen weitgehend automatisiert ablaufen, erfolgt die Handlungssteuerung auf der regelbasierten Ebene mittels gelernter „Wenn-Dann“ Regeln. Auf der wissensbasierten Ebene erfolgt die Handlungssteuerung nicht mehr mittels einfacher Regeln, sondern durch intensive kognitive Auseinandersetzung.

Auf das Autofahren bezogen, verfeinert Michon (1989) diesen hierarchischen Ebenenansatz (Abbildung 3.1).

Verhaltensebene	**Aufgabenebene**	**Beispiel**
Autonom	Reaktiv	Querstabilisierung
Skillbasiert	Kontrollierend	Längsstabilisierung
Regelbasiert	Manövrierend	Überholen
Wissensbasiert	Strategisch	Navigationsverhalten

Abbildung 3.1 Hierarchisches Modell des Autofahrens nach Michon (1989)

Unterhalb der fähigkeitsbasierten Ebene befindet sich hier noch die autonome Ebene. Aus den gegebenen Beispielen wird deutlich, dass diese beiden untersten Ebenen Aufgaben der Quer- und Längsstabilisierung umfassen, also diejenigen Aufgaben, welche laut der EN ISO 17287 (2003) die primäre Fahraufgabe darstellen. Im Folgenden soll im Hinblick auf eine einheitliche Bezeichnung jeweils von Quer- und Längsregelung, gemäß der EN ISO 17287 (2003), gesprochen werden.

Zur Beschreibung der primären Fahraufgabe existieren auch verschiedene mathematisch-regelungstechnische Modelle. Blaauw (1984) entwickelte das sogenannte Supervisory Driver Model (siehe Abbildung 3.2), welches zwei Fahrmodelle vereint. Das eine Fahrmodell sieht den Menschen als direkten Regler in der Fahraufgabe, welcher zu jeder Zeit die volle Aufmerksamkeit auf die Position in der Spur richtet. Dieses Modell trägt, für sich alleine genommen, für Situationen, in denen die Fahraufgabe tatsächlich die volle Aufmerksamkeit beansprucht. Beispiele hierfür sind das Fahren von Serpentinen, das Fahren in dichtem Nebel oder Fahrten von Fahranfängern. Für fortgeschrittene Autofahrer ist jedoch eher ein Modell geeignet, welches den Fahrer als Überwacher von „Teilsystemen“, die automatisiert ablaufen, sieht. Dieser Überwacher greift erst dann regelnd ein, wenn das Überschreiten gewisser Toleranzgrenzen ein Eingreifen notwendig machen. Dadurch, dass der Fahraufgabe nicht die ungeteilte Aufmerksamkeit zugewendet wird, bleibt Zeit für andere Aufgaben, wie das Verändern der Radioeinstellung oder das Führen eines Telefonats. Diese Beispiele verdeutlichen, dass die von Blaauw (1984) vorgeschlagene Kombination der beiden Modelle der Realität des Fahrens wohl eher gerecht wird, als die getrennte Betrachtung der beiden Modelle.

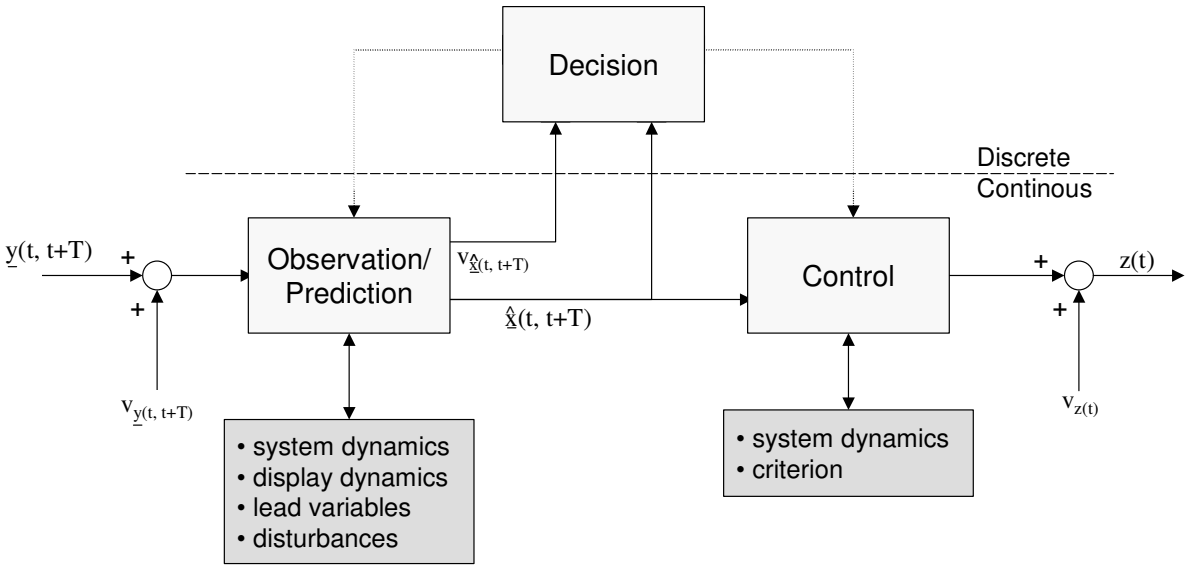

Abbildung 3.2 Supervisory Driver Model nach Blaauw (1984)

3.3 Sekundäre Aufgabenbearbeitung

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit die oben geschilderten sekundären Aufgaben die primäre Fahraufgabe beeinflussen, ist das Multiple Ressourcenmodell von Wickens (1984) nützlich. Dieses Modell geht von der Annahme aus, dass die Ressourcen der menschlichen Informationsverarbeitung begrenzt sind und dass die verschiedenen kognitiven Verarbeitungsstufen, je nach Modalität des Eingangssignals und der Art der Verarbeitung, um diese Ressourcen konkurrieren.

Wickens (1984) unterscheidet die beiden Wahrnehmungsmodalitäten „auditorisch“ und „visuell“ und die beiden Verarbeitungstypen „räumlich“ und „verbal“. An kognitiven Verarbeitungsstufen nennt das Modell „Enkodierung“, „Zentrale Verarbeitung“ und „Antwortart“. Die Enkodierung entspricht der Aufnahme der Reize aus der Umwelt und ihre Umwandlung in Nervenimpulse. Die zentrale Verarbeitung entspricht der höheren Verarbeitung im Gehirn, wie es Wickens' vereinfachtem Modell der menschlichen Informationsverarbeitung zu entnehmen ist (vgl. Abbildung 3.3). Sollte aus dieser Verarbeitung eine Antwort folgen, so kann, dem Modell gemäß, zwischen manueller oder sprachlicher Antwort unterschieden werden.

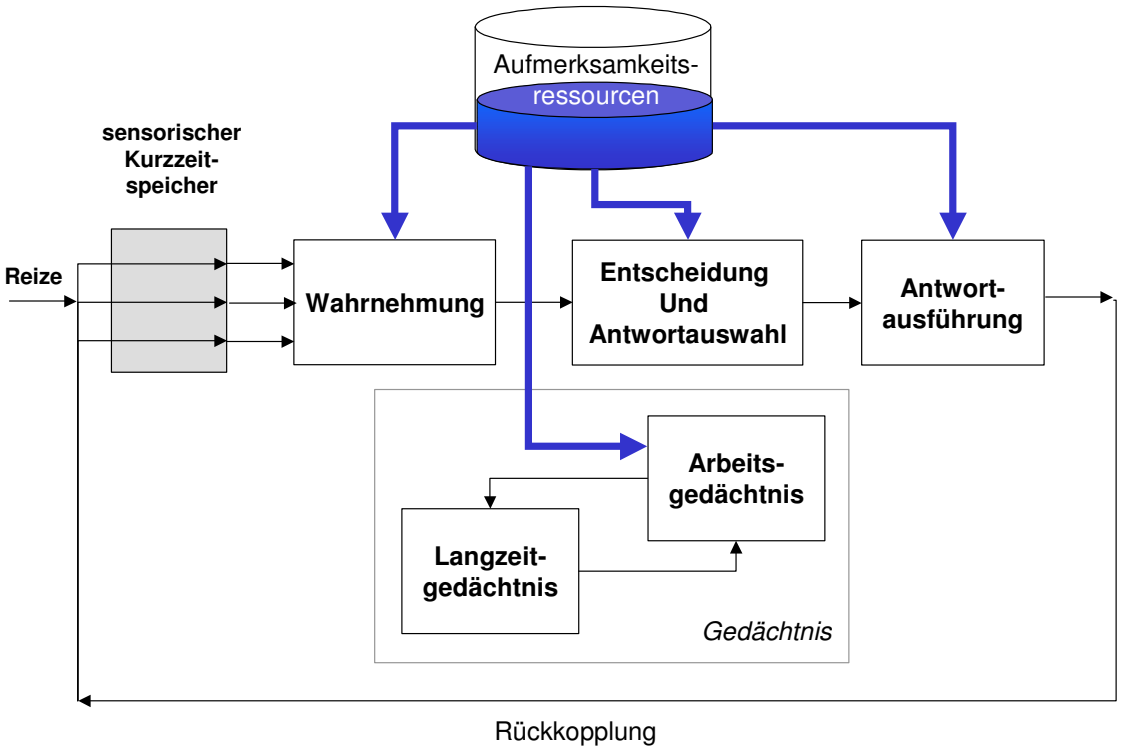

Abbildung 3.3 Wickens' vereinfachtes Modell der Informationsverarbeitung aus Frieling und Sonntag (1999)

Mit diesem Modell kann abgeleitet werden, wie stark zwei oder mehr Aufgaben interferieren sollten. Hierzu muss ermittelt werden, welche Verarbeitungsstufen beteiligt sind, welche Wahrnehmungsmodalität und welcher Verarbeitungstyp gegeben ist, sowie auf welche Weise die Antwortausführung erfolgt.

Das bereits geschilderte Fahrmodell von Blaauw (1984) nimmt an, dass die primäre Fahraufgabe dem Fahrer nicht die volle Aufmerksamkeit abverlangt. Dies entspricht der eigenen Erfahrung. Ein Fahrer ist augenscheinlich in der Lage, neben der primären Fahraufgabe noch weitere Tätigkeiten auszuführen, sei es das Radio einzustellen oder ein Gespräch mit dem Beifahrer zu führen. Diese Beschäftigung mit anderen Tätigkeiten bzw. die Interaktion mit anderen Systemen im Auto kann für den Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer aber gefährlich sein, wie Wierwille und Tijerina (1997) bestätigen. Aus der Untersuchung von Unfallprotokollen kommen sie zu dem Schluss, dass die Dauer und Häufigkeit visueller Aufmerksamkeit direkt sicherheits-relevant sind.

Unter Einbeziehung des beschriebenen multiplen Ressourcenmodells von Wickens (1984) lassen sich die Auswirkungen von sekundären Aufgaben abschätzen. Die primäre Fahraufgabe nutzt hauptsächlich visuell enkodierte Signale, die den räumlichen Verarbeitungstyp verwenden. Die Reaktion auf diese Verarbeitung erfolgt manuell. Den größten Einfluss auf die primäre Fahraufgabe dürften somit sekundäre Aufgaben haben, die ebenfalls den visuellen Sinneskanal verwenden, eine räumliche Verarbeitung der aufgenommenen Informationen vornehmen und eine manuelle Antwort durchführen. Am geringsten sollte der Einfluss von sekundären Aufgaben sein, welche auditorisch enkodierte Signale verbal/sprachlich verarbeiten und das Ergebnis der Verarbeitung sprachlich mitteilen.

4 Fahrsimulatoren und Fahrsimulation

Der Einsatz von Fahrsimulatoren hat eine lange Forschungstradition. Fahrsimulatoren werden in einem breiten Feld zu unterschiedlichen Forschungszwecken eingesetzt. Gemäß Blana (1996) kommen Fahrsimulatoren vorwiegend zum Einsatz, um die Akzeptanz und Sicherheit innovativer Elemente im Verkehrswesen zu untersuchen. Bei diesen Elementen kann es sich beispielsweise um neuartiges Straßendesign, aktive Systeme (z.B. ACC) und passive Systeme (z.B. ABS) zur Steigerung der Fahrzeugsicherheit oder Fahrerinformationssysteme handeln. Ein weiteres wichtiges Forschungsgebiet ist der Einfluss von Drogen, Alkohol, Müdigkeit oder Krankheit auf das Fahrerverhalten (vgl. Weiler, Bloomfield, Woodworth, Grant, Layton, Brown, McKenzie, Baker & Watson, 2000). Aber auch im klinischen Umfeld, beispielsweise zur Behandlung von Phobien in Bezug auf das Autofahren, kann ein Fahrsimulator Verwendung finden (vgl. Triggs & Regan, 1999).

Der Einsatz von Fahrsimulatoren bietet einige Vorteile. Im Vergleich zu Untersuchungen mit einem realen Fahrzeug auf realen Straßen oder einem Testgelände sind die Durchführungszeit und damit auch die Kosten niedriger (vgl. Kemeny & Panerai, 2003). Ein weiterer Vorteil wird in der Möglichkeit gesehen, exakte wiederholbare Versuchsbedingungen zu schaffen. Diese Versuche bringen außerdem keine Gefährdung des Probanden mit sich. So ist es möglich, simulierte Gefahrensituationen zu schaffen und gefährdungsfrei zu beobachten, wie der Proband auf diese reagiert (vgl. Uhr, Felix, Williams & Krueger, 2003). Auch ist es in Fahrsimulatoren oft einfacher, die relevanten Messwerte zu erfassen, als ein reales Fahrzeug entsprechend zu instrumentieren. Hier helfen zwar Fortschritte in der Messtechnik, in der Vergangenheit wurde aber auch schon ein Tank mit Färbemittel am Fahrzeugboden montiert, um über die Farbtropfen die Spur des Fahrzeugs verfolgen zu können (vgl. Zwahlen, Adams & DeBald, 1988).

Für die unterschiedlichen Forschungsgebiete bzw. Forschungsaufgaben wurden verschiedene Typen von Fahrsimulatoren entwickelt, die sich in Ausstattung und Komplexität unterscheiden. Im folgenden Abschnitt soll ein Überblick über diese Fahrsimulatortypen gegeben werden.

4.1 Fahrsimulatortypen

Kemeny und Panerai (2003) beschreiben einen Fahrsimulator als ein System, welches für einen Fahrer eine kohärente multi-sensorisch erfassbare Umwelt schafft. In dieser Umwelt kann der Fahrer virtuelle Fahrzeugbewegungen wahrnehmen und veranlassen. Fahrsimulatoren existieren in unterschiedlich komplexen Ausprägungen. Die einfachsten Arten bestehen lediglich aus einem Monitor für die Darstellung der Szenerie, sowie einem Spielelenkrad und einem Gaspedal, um die virtuellen Fahrzeugbewegungen zu veranlassen. Diese Minimalausstattung genügt jedoch kaum der Fahrsimulatordefinition von Kemeny und Panerai (2003), da die Erfassung der Umwelt nur über den visuellen Sinneskanal erfolgt. Erst durch Einsatz eines Force-Feedback-Lenkrades, welches den Lenkwiderstand beim Fahren simuliert, oder aber die Verwendung von Lautsprechern, welche ein der aktuellen Geschwindigkeit und der Beschleunigungs-

vorgänge angepasstes Fahrgeräusch wiedergeben, wird ein solcher Aufbau der Anforderung an eine multi-sensorische Darbietung der Umwelt gerecht.

Komplexere Fahrsimulatoren versuchen den Realitätseindruck dieser simulierten Umwelt weiter zu steigern. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von sogenannten Sitzkisten, also Fahrzeugkarosserien, deren Innenleben vollständig erhalten geblieben sind, erfolgen. Die Darbietung der Fahrszene ist über flache oder gewölbte Projektionsleinwände oder auch mittels mehrerer Großbildschirme in Fahrtrichtung möglich. Die Simulation der Rückspiegel kann über das Aufstellen von entsprechenden Projektionsflächen entgegen der Fahrtrichtung erreicht werden. Auch die visuelle Darbietung der Fahrszenerie auf einer Projektionskuppel wird eingesetzt und ermöglicht eine 360° Simulation der Umwelt. Fahrgeräusche und Fremdverkehr können durch entsprechende 3D Surround Systeme realitätsnah simuliert werden.

Solange die Sitzkiste in der Simulation nicht bewegt wird, handelt es sich um einen sogenannten statischen Fahrsimulator. Der nächste große Schritt in Richtung Realitätsnähe besteht darin, auch die Sitzkiste entsprechend der Fahrmanöver zu bewegen, um Flieh- und Beschleunigungskräfte zu simulieren. Dazu wird die Sitzkiste beispielsweise auf hydraulisch bewegten Stelzen befestigt. Mit diesen Stelzen kann die Sitzkiste dann mit unterschiedlichen Beschleunigungen in alle Raumrichtungen gekippt werden. Eine weitere Steigerung stellt die Erweiterung der Bewegungsrichtungen in horizontale und vertikale Richtungen dar. Fahrsimulatoren, bei denen Flieh- und Beschleunigungskräfte simuliert werden, werden allgemein als dynamische Fahrsimulatoren bezeichnet.

Bei der Einteilung von Fahrsimulatoren wird auch von „low fidelity“, „medium fidelity“ und „high fidelity“ gesprochen, also von Fahrsimulatoren geringer, mittlerer und hoher Abbildungstreue (vgl. beispielsweise Östlund et al., 2005). So sind die anfangs geschilderten einfachen Aufbauten mit Computerbildschirm und Spielelenkrad der Gruppe der „low fidelity“ Fahrsimulatoren zuzuordnen. Statische Aufbauten mit vollständiger Sitzkiste und besserer Bildgebung mit erweitertem Sichtfeld verfügen über viele aber nicht alle möglichen Reize und gehören deshalb zu der Gruppe „medium fidelity“. Dynamische Fahrsimulatoren versuchen alle für das Fahren relevanten Hinweisreize zu simulieren und werden deshalb als „high fidelity“ Fahrsimulatoren bezeichnet. Der Übergang zwischen Fahrsimulatoren der Kategorie „low“ und „medium“ fidelity ist aber sicherlich fließend, da einzelne Komponenten durchaus über hervorragende Abbildungstreue verfügen können.

Die Entwicklung von Fahrsimulatoren unterschiedlicher Komplexität ist nicht Selbstzweck. Vielmehr sollten sich Ausstattung und Fähigkeiten eines Fahrsimulators nach dem Gegenstand der Forschung richten. So ist es durchaus sinnvoll, in den einzelnen Projektphasen, beispielsweise bei der Entwicklung eines Fahrerinformationssystems, aus ökonomischen Gründen unterschiedliche Fahrsimulatortypen einzusetzen. Die generelle Tauglichkeit eines Bedienkonzepts kann zunächst mittels eines Einfachsimulators abgeschätzt werden. Weiter fortgeschrittene Prototypen erfahren dann einen Test in statischen Fahrsimulatoren mittlerer Komplexität, um die Auswirkungen auf den Fahrer genauer abschätzen zu können. Eine abschließende Absicherung kann in einem dynamischen Fahrsimulator oder auf dem Testgelände erfolgen. Andere Systeme, die beispielsweise zur Unterstützung in bestimmten Fahrsituationen dienen, müssen von Anfang an in einem dynamischen Fahrsimulator getestet werden.

Auch kann die Entwicklung von Fahrsimulatoren keinesfalls als abgeschlossen angesehen werden. Im Rahmen der technischen Möglichkeiten und Neuerungen wird versucht, Fahrsimulatoren der Realität immer näher zu bringen.

4.2 Übertragbarkeit von Fahrsimulatoruntersuchungen auf Realfahrten

Neben den Eingangs genannten Vorteilen, die der Einsatz eines Fahrsimulators bietet, müssen jedoch auch die Nachteile beachtet werden. Da die dargestellte Fahrszene ihrerseits nur eine zweidimensionale Abbildung ist, sind hier in erster Linie monokulare Tiefeninformationen vorhanden. Die okulomotorischen Tiefeninformationen, also die Akkomodation und Konvergenz, dürften in einem Fahrsimulator falsche Werte liefern, da der Betrachter die Fläche der Bildgebung fixiert und scharf einstellt. Allerdings spielen diese Tiefeninformationen nur in einem Entfernungsbereich bis zwei (Goldstein, 2002) oder bis sechs Metern (Birbaumer & Schmidt, 1999) eine Rolle. Bei der bewegungsinduzierten Tiefeninformation ‚Bewegungsparallaxe' stehen nur diejenigen zur Verfügung, die aus der Bewegung des Fahrers in Fahrtrichtung resultieren. Bewegungsparallaxe, hervorgerufen durch die Kopfbewegung des Fahrers, stehen in der Regel nicht zur Verfügung, da die Kopfbewegungen nicht erfasst und in der Simulation für die Bildanzeige verrechnet werden. Die monokularen Tiefeninformationen werden jedoch in der Regel simuliert. Je nach der Leistungsfähigkeit der Simulatorsoftware und -hardware können auch Schatten simuliert werden. Die Unschärfe, verursacht durch atmosphärische Perspektive, wird gewissermaßen automatisch durch die begrenzte Auflösung der Bildgebung simuliert. Für die Darstellung weiter entfernter Objekte stehen immer weniger Pixel zur Verfügung. Die stereoskopischen Informationen (Querdisparation) für die räumliche Tiefe fehlen hingegen vollständig, da die betrachtete Fahrszene ihrerseits nur ein zweidimensionales Abbild ist. Dieser Unterschied zwischen Fahrsimulator und Realfahrt dürfte der schwerwiegendste Unterschied sein, da die Tiefeninformation auch im mittleren Entfernungsbereich bis zu 30 Metern wirksam ist (Goldstein, 2002).

Bei statischen Fahrsimulatoren fehlt darüber hinaus die Wahrnehmung von Quer- und Längsbeschleunigungskräften. Eine haptische Rückmeldung einer unebenen Straße o.ä. fehlt ebenfalls bei vielen statischen Fahrsimulatoren.

Es wurde bereits der Vorteil genannt, auch Gefahrensituationen gefährdungsfrei simulieren zu können. Hier stellt sich jedoch die Frage, wie aussagekräftig die Ergebnisse aus solchen Untersuchungen sind. Fehlt eine objektive Gefährdung, ist es fraglich, inwieweit der Proband subjektiv Gefahr empfindet. Die Motivation, „sicher" im Fahrsimulator zu fahren, kann deswegen anders ausfallen als bei realen Fahrten.

Die genannten Einschränkungen zeigen, dass ein Fahrsimulator die Wirklichkeit nie hundertprozentig simulieren kann. Es stellt sich also die Frage, inwieweit die aus Fahrsimulatoruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse auf die Realität übertragen werden können. Zur Beantwortung dieser Frage wurden und werden Validierungsuntersuchungen durchgeführt. Ein Problem bei der Validierung von Fahrsimulatoren ist, dass es sich bei Fahrsimulatoren um Systeme mit Mensch-Maschine Interaktion handelt. Sie sind als solche zu kompliziert, als dass die psychologischen Definitionen der Testvalidität angewendet werden können (Blana, 1996).

Aus diesem Grund wurden andere Ansätze und Methoden zur Validierung von Fahrsimulatoren entwickelt. Eine gute Zusammenfassung der Validierungsstrategien und Methoden ist bei Blana (1996) nachzulesen. Eine grundsätzliche Unterscheidung, die beispielsweise auch Blaauw (1982) trifft, ist, dass für Fahrsimulatoren sowohl eine physikalische Validierung (physical validation) als auch eine Verhaltensvalidierung (behavioural validation) nötig ist.

Bei der physikalischen Validierung wird die Frage untersucht, inwieweit ein Fahrsimulator die Fahreigenschaften des simulierten Fahrzeugs abbildet, also ob beispielsweise identische Steuer-, Brems- oder Beschleunigungsvorgänge in beiden Umgebungen ähnliches oder gleiches Antwortverhalten aufweisen. Jamson (2001) sagt überdies, dass zur physikalischen Validität eines Fahrsimulators auch gehört, dass der visuelle Eindruck bzw. die visuellen Schlüsselreize realistisch sind.

Die Verhaltensvalidierung soll die Frage klären, ob das Fahrerverhalten in einem Fahrsimulator dieselben Reaktionen beim Fahrer hervorruft, wie es in der Realität der Fall ist. In einer zusammenfassenden Übersicht nennt Blana (1996) hier vier Möglichkeiten der Verhaltensvalidierung:

- Vergleichen der beiden Systeme (Realfahrt und Fahrsimulator) während identischer Aufgaben und Umstände bezüglich Fahrerverhalten und/oder Performanz
- Messung und Vergleich der physischen und/oder mentalen Belastung
- Vergleich von subjektiven, durch Fragebögen erhobenen Kriterien
- Evaluierung von Trainingseffekten an einem Fahrsimulator für die Realfahrt

Ein weit verbreitetes Vorgehen bei der Validierung besteht darin, die Performanz des Fahrers im Fahrsimulator mit der Realfahrt zu vergleichen. Für die Bestimmung der Performanz werden häufig Maße der Quer- und Längsregelung herangezogen. Die Maße der Querregelung sollen im folgenden Kapitel ausführlich beschrieben werden.

Wird eine Verhaltensvalidierung durchgeführt, können prinzipiell drei Ergebnisse folgen. Entweder der getestete Fahrsimulator besitzt absolute Validität, relative oder gar keine Validität. Für das Vorliegen von absoluter Validität müssen die betrachteten Kriterien bei Fahrsimulator und Realfahrt identisch oder in engen Grenzen vergleichbar sein. Am Beispiel der Querregelung bedeutet dies, dass der erhobene Wert identisch oder in eng gesteckten Grenzen vergleichbar ausfällt. Relative Validität ist gegeben, wenn die verglichenen Werte einen eindeutigen Trend aufweisen, aber nicht absolut übereinstimmen.

In einem Überblick zeigte Blana (1996), dass Fahrsimulatoren bezüglich der getesteten Aspekte in den meisten Fällen relative Validität erreichen. Ein ähnliches Bild ergaben auch andere Validierungsstudien. Bengler, Bernasch und Löwenau (1996) konnten zeigen, dass für das Blickverhalten in einem statischen Fahrsimulator gegenüber einer Realfahrt auf einer Teststrecke relative Validität gegeben ist. Eine neuere Studie zur emotionalen Vergleichbarkeit von Realfahrt und simulierter Fahrt von Uhr et al. (2003) konnte nachweisen, dass die hervorgerufenen Emotionen in einem Fahrsimulator durchaus mit denen bei einem realen Training vergleichbar sind.

In einer Untersuchung des Kurvenfahrens wies Jamson (1999) die relative Valididtät eines statischen Fahrsimulators nach. Interessant an dieser Untersuchung ist, dass hier nicht direkt eine Realfahrt mit der Fahrt am Fahrsimulator verglichen wurde, sondern aus dem relativen Verhalten der Fahrergruppen Anfänger und Fortgeschrittene aus einer anderen Untersuchung mit Realfahrt (Cavallo, Brun-Dei, Laya & Neboit, 1988) auf die Validität des Fahrsimulators geschlossen wurde.

Engström, Johansson und Östlund (2005) fanden in einer Untersuchung, die eine Realfahrt, einen statischen und einen dynamischen Fahrsimulator umfasste, heraus, dass sich die Messwerte für die Längs- und Querregelung (siehe Kapitel 5) größtenteils konsistent verhielten. Einzig bei aus den Lenkradbewegungen abgeleiteten Querregelungsmaßen und den physiologischen Messungen zeigten sich Unterschiede zwischen Fahrsimulator- und Realfahrt, was die Autoren mit dem Sicherheitsempfinden der Versuchspersonen bzw. mit dem höheren Risiko bei Realfahrten erklären.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei Fahrsimulatoren im aktuellen Entwicklungsstand keine absolute Validität vorliegt, aber in den meisten Fällen relative Validität für einzelne Aspekte eines Fahrsimulators nachgewiesen werden kann.

4.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse von Fahrsimulator zu Fahrsimulator

Während es zahlreiche Untersuchungen zur Validierung von Fahrsimulatoren gegenüber der Realfahrt gibt, sind Untersuchungen, die den Vergleich von zwei Fahrsimulatoren unterschiedlichen oder desselben Typs anstellen, eher selten. Wie im vorangehenden Abschnitt gezeigt wurde, kann für die meisten Fahrsimulatoren relative Validität nachgewiesen werden. Dieser Nachweis erfolgt oft nur für bestimmte Aspekte des Fahrsimulators. Relative Validität sagt jedoch nur aus, dass die betrachteten Maße unter verschiedenen Bedingungen einen eindeutigen Trend aufweisen. Ob sich zwei Fahrsimulatoren in ihren Ergebnissen gleichen, lässt sich aus dem Vorliegen von relativer Validität jedoch nicht ableiten. Hierfür ist neben der Gleichsinnigkeit des Trends auch die Größe oder Höhe des Trends, bzw. die relative Höhe zwischen den einzelnen Bedingungen ausschlaggebend. Somit ist es schwer vorherzusagen, ob Ergebnisse, welche für einen bestimmten Fahrsimulator gefunden wurden, auch für einen anderen Fahrsimulator Gültigkeit besitzen.

Im Rahmen des ADAM[1] Projekts wurden die Ergebnisse eines dynamischen und eines statischen Fahrsimulators hinsichtlich sekundärer Aufgabenbearbeitung untersucht (Bengler, Praxenthaler, Theofanou & Eckstein, 2004). Hier wurde hauptsächlich der Einfluss visuell-manueller Aufgaben überprüft. In beiden Fahrsimulatoren zeigte sich ein signifikanter Einfluss der sekundären Aufgabenbearbeitung. Allerdings zeigten Korrelationsrechnungen, dass sich einige der untersuchten Aufgaben in Bezug auf die Querregelung erheblich voneinander unterschieden, was auf die vorhandenen bzw. fehlenden Bewegungsreize zurückgeführt wurde. Aus der Konfigurationsbeschreibung lässt sich aber noch das zur Verfügung stehende Sichtfeld als weitere Einflussgröße ableiten: Der statische Fahrsimulator wurde mit einem vertikalen Sichtfeld von 52° betrieben; der dynamische Fahrsimulator verfügte über ein vertikales Sichtfeld von 180°.

[1] Akronym für **A**dvanced **D**river **A**ttention **M**etrics

In einer groß angelegten Studie wurden im Rahmen des europäischen Projektes HASTE[2] mehrere Fahrsimulatoren und ein Einfachsimulator unter möglichst identischen Untersuchungsbedingungen getestet, um einen Satz an möglichen Maßen zur Bestimmung der Fahrerablenkung durch Fahrerinformationssysteme zu gewinnen (Östlund, Nilsson, Carsten, Merat, Jamson, Jamson, Mouta, Carvalhais, Santos, Anttila, Sandberg, Luoma, de Waard, Brookhuis, Johansson, Engström, Victor, Harbluk, Janssen, & Brouwer, 2004)[3]. Variiert wurden bei den im Rahmen des Projekts HASTE durchgeführten Experimenten die Aufgabenschwierigkeit von sekundären Aufgaben sowie das Straßenszenario. Zum Einsatz kamen Landstraße, Autobahn und Stadtverkehr. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass zwischen den Fahrsimulatortypen keine Unterschiede bestehen, wobei sie unter Fahrsimulatortyp offenbar nur die Unterscheidung zwischen Einfachsimulator und den restlichen getesteten Fahrsimulatoren verstanden. Dies wurde unter Verweis auf die vorgenommene Metaanalyse damit begründet, dass bei dem Einfachsimulator dieselben Maße signifikant wurden, wie bei den komplexeren Fahrsimulatoren. Dies überrascht etwas, da sich die Metaanalyse in der Veröffentlichung auf Effektstärken und nicht auf Signifikanzen stützt. Die Autoren führen weiter aus *„The effect sizes were also broadly in line; indeed in many cases they were larger in the Portuguese (=Einfachsimulator) study“ (S. 269)*. Allerdings werden in den Ergebnissen nur mittlere Effektstärken und die minimalen und maximalen Effektstärken innerhalb einer Schwierigkeitsstufe genannt. Daher kann die Aussage, dass die Effektstärken in der Hauptsache übereinstimmen, nicht so recht nachvollzogen werden. Die höheren Effektstärken bei dem Einfachsimulator werden hier mit dem aggressiveren Fahrverhalten der portugiesischen Fahrer erklärt.

Jamson und Mouta (2004), die ein Teilexperiment aus dem Projekt HASTE veröffentlichten, kommen zu einem ganz anderen Schluss. Sie vergleichen hier die Ergebnisse aus der „Portugiesischen Studie“ mit einem statischen Fahrsimulator mittlerer Komplexität und fanden erhebliche Unterschiede in Fahrgeschwindigkeit und Querregelung, welche sie klar auf die Unterschiede im Fahrsimulatortyp zurückführten. Der einfache Fahrsimulator bestand aus einem Computermonitor, welcher ein vertikales Sichtfeld von 27° gewährte. Dies entsprach einer Auflösung von 47 Pixel pro Grad. Lenkrad und Gaspedal bestanden aus Computerspielzubehör ohne dynamisches Feedback. Der statische Fahrsimulator verfügte über ein Sichtfeld von 230°, welches mittels 5 Projektoren erreicht wurde, wobei die beiden äußeren Projektoren über eine geringere Auflösung verfügten. Unter der Annahme, dass jeder Projektor einen in etwa gleichen Sichtbereich abdeckte, stand eine vertikale Auflösung von 27,8 Pixel pro Grad zur Verfügung. Der vertikale Sichtbereich betrug 39°, was einer vertikalen Auflösung von 26,3 Pixel pro Grad entsprach. Der statische Fahrsimulator verfügte über ein Lenkrad und Gaspedal mit dynamischer Rückmeldung.

[2] Akronym für **H**uman Machine Interface **A**nd the **S**afety of **T**raffic in **E**urope

[3] Das zur Studie veröffentlichte Projektpapier hat den Verfügbarkeitsvermerk „Restricted until approved - Project“. Im Gegensatz dazu trägt die ebenfalls zum HASTE Projekt gehörende Veröffentlichung des Konzeptpapiers von Roskam et al. (2002) den Verfügbarkeitsvermerk „Unrestricted - Public“. Gleichwohl ist die zitierte Studie von Östlund et al. (2004) in dieser Form auf der im Literaturverzeichnis angegebenen Internetseite der Europäischen Union öffentlich verfügbar. Nach Kenntnis der Autorin handelt es sich dabei um die einzig verfügbare und aktuellste Version dieses Dokuments

Auch kann auf Grund der veröffentlichten Ergebnisse aus der HASTE Studie (Östlund et al., 2004) nicht eindeutig geschlossen werden, ob es wesentliche Unterschiede zwischen Fahrsimulatoren eines Typs gibt. Wie bereits erwähnt, wurden hier nur die mittleren Effektstärken und die minimalen und maximalen Effektstärken innerhalb einer Aufgabenschwierigkeitsstufe genannt. Bei der Beschreibung der Einzelexperimente fehlen die Streuungen, so dass sich eine Nachberechnung schwierig gestaltet. Das Szenario Autobahnfahrt wurde nur an einem statischen und einem dynamischen Fahrsimulator getestet, so dass Aussagen über verschiedene Fahrsimulatoren hinweg diesbezüglich auch nicht getroffen werden können.

Die Frage, ob Untersuchungsergebnisse, die an Fahrsimulatoren desselben Typs, gewonnen wurden, vergleichbar ausfallen, kann durch die HASTE Studie nicht eindeutig beantwortet werden. Dies ist aber durchaus interessant, da es sogar innerhalb einer Forschungseinrichtung mehrere unterschiedliche Fahrsimulatoren, beispielsweise zur Vermeidung von Ressourcenengpässen, geben kann (vgl. Triggs & Regan, 1999). Fahrsimulatoren desselben Typs werden im Folgenden als Fahrsimulatorvarianten bezeichnet.

Nach Beginn der vorliegenden Experimente wurde im Rahmen des europäischen Projektes AIDE[4] eine Veröffentlichung getätigt, die im Anschluss an das HASTE Projekt weiterführende Untersuchungen an den verwendetet Maßen durchführte (Östlund et al., 2005). Hier wurden unter anderem zwei statische Fahrsimulatorvarianten mit identischer Fahrdynamik aber unterschiedlicher Bildgebung mittels Projektion und Plasmabildschirmen direkt miteinander verglichen. Allerdings handelte es sich hier um ein spezielles Testverfahren, den sogenannten Lane Change Test. Der „Lane Change Test“ erhebt ein spezielles Maß, bei welchem ein idealer Spurverlauf mit dem tatsächlich gefahrenen Spurverlauf verglichen wird (vgl. Johansson, Engström, Cherri, Nodari, Toffetti, Schindhelm & Gelau, 2004). Es wurden signifikante Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten bei kleinen bis mittleren Effekten gefunden. Hier zeigte sich tendenziell die Fahrsimulatorvariante ‚Projektion’ überlegen. Ein gleichzeitig durchgeführter Vergleich mit einem Einfachsimulator mit unterschiedlicher Fahrdynamik zeigte für das Lane Change Maß signifikante große Effekte, wie sie auch bei Jamson und Mouta (2004) für andere Maße der Querregelung gefunden worden waren.

Im Weiteren sollen Untersuchungen genannt werden, die sich nicht direkt mit dem Vergleich zweier Fahrsimulatortypen beschäftigen, aber Aufschluss geben können, ob und in welchem Ausmaß sich Fahrsimulatortypen bzw. Fahrsimulatorvarianten bei ähnlichem Untersuchungsgegenstand unterscheiden könnten.

Im Rahmen des bereits in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Experiments von Chatziastros et al. (1999) wurde auch der Unterschied des Sichtfelds und die Unterschiede in den eingesetzten bildgebenden Verfahren thematisiert. Die Untersuchungsbedingungen wurden dazu sowohl an einem Monitor als auch durch Einsatz von Projektion abgetestet. Zusätzlich wurde die Untersuchung für das Verfahren Projektion mit stark erweitertem Sichtfeld wiederholt. Bezüglich der Erweiterung des Sichtfelds von 40° auf 180° wurde keine Verbesserung in der Querregelung festgestellt, wobei allerdings daran erinnert werden muss, dass hier nicht mit voller Sicht gefahren wurde, sondern die Position von 1° breiten, horizontalen Sichtbändern variiert wurde. Auch geht aus der

[4] Akronym für **A**daptive **I**ntegrated **D**river-Vehicle Int**e**rface

Veröffentlichung nicht hervor, ob jenseits der Straße Szenerie in Form von Objekten oder Textur vorhanden war oder nicht.

Interessanterweise verschlechterte sich die Querregelung unter der 40 Grad Bedingung bei Einsatz der Projektion gegenüber dem Monitor und verbesserte sich auch nicht, als bei der Projektion Straßentextur dargeboten wurde. Chatziastros et al. (1999) vermuteten, dass die schlechtere Auflösung des Projektionsverfahrens maßgeblich für die schlechtere Querregelung war. Die horizontale Auflösung war mit 32 Pixel pro Grad beim Computermonitor höher als bei der Projektion mit 14 Pixel pro Grad. Vertikal standen beim Computermonitor 36 Pixel pro Grad zur Verfügung, bei der Projektion 14 Pixel pro Grad. Abschließend äußerten Chatziastros et al. (1999) die Vermutung, dass der Monitor durch seinen Rahmen über einen starken Referenzbezug verfügt und ebenfalls eine Erklärung für das schlechtere Abschneiden der Projektion sein könnte. Die Ergebnisse stehen damit in Gegensatz zu dem Befund von Östlund et al. (2005), welcher der Projektion eine bessere Performanz bescheinigt.

Eine andere Studie, die Aufschluss über die Wirkung eines verringerten Sichtfelds geben kann, ist die Studie von Wood und Troutbeck (1992). Hier wurde bei gesunden Personen unter anderem der Verlust des Sehens in der weiteren Peripherie simuliert, indem durch entsprechend manipulierte Schwimmbrillen nur ein Sichtfeld von 90° gewährt wurde. Die Querregelung betreffend wurde kein wesentlicher Unterschied zu dem kompletten Sichtfeld festgestellt. Auch bei dem Manöverfahren durch einen abgesteckten Kurs wurde kein wesentlicher Unterschied in den Manöverfehlern festgestellt. Allerdings wurden die Probanden mit dem eingeschränkten Sichtfeld langsamer. Da es sich bei dem Experiment um einen Realversuch handelte, wurden, was die Querregelung betrifft, nur in sehr geringem Umfang Maße erhoben. Dieser Umstand tritt bei Untersuchungen in realen Fahrzeugen häufig auf, da es oft schwer ist, Fahrzeuge so zu instrumentieren, dass sie Querregelungsmaße zuverlässig erfassen (vgl. beispielsweise Stanton, Young, Walker, Turner & Randle 2001).

Jamson (2001) hingegen fand, anders als Chatziastros et al. (1999) und Wood und Troutbeck (1992), bei einer Untersuchung mit den Sichtfeldern von 50°, 120° und 230° Hinweise darauf, dass eine Vergrößerung des Sichtfeldes Verbesserungen bei Geschwindigkeitswahl und Querregelung brachte. Eine in diesem Versuch ebenfalls durchgeführte Variierung der Auflösung hatte, anders als bei Chatziastros et al. (1999), keinen Einfluss. Leider wurden auch bei diesem Versuch, wie bei Wood und Troutbeck (1992), nur in sehr geringem Umfang Maße der Querregelung erhoben.

Neben Auflösung und Sichtfeld können sich Fahrsimulatorvarianten auch hinsichtlich Kontrast und Leuchtdichte unterscheiden. Hier zeigten die Untersuchungen von Owens und Tyrell (1999) und McKnight et al. (1998), die bereits in Abschnitt 3.1.2 beschrieben wurden, dass Kontrast und Leuchtdichte nur in extremen Bereichen eine Rolle spielen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Frage, ob sich Untersuchungsergebnisse einer Fahrsimulatorvariante in einer anderen Fahrsimulatorvariante replizieren lassen, anhand der Forschungsergebnisse nicht eindeutig beantwortet werden kann. Die vorliegenden Untersuchungen sind auf Grund unterschiedlicher Schwerpunkte nur schwer vergleichbar. Auch aus den in diesem und dem vorangehenden Kapitel beschriebenen

Untersuchungen zum Autofahren bzw. zur Querregelung ist es schwierig, theoretisch abzuleiten, auf welche Weise sich Fahrsimulatoren unterscheiden. Da der Begriff Validität in der Literatur hauptsächlich für den Vergleich einer Fahrsimulatorfahrt mit einer Realfahrt verwendet wird, soll im Rahmen dieser Arbeit bei dem Vergleich zwischen Fahrsimulatoren von ‚Vergleichbarkeit' gesprochen werden. Ähnlich wie bei der Validität soll es als absolute Vergleichbarkeit bezeichnet werden, wenn die Ergebnisse von zwei Fahrsimulatoren exakt übereinstimmen und als relative Vergleichbarkeit, wenn die Ergebnisse zwar nicht exakt übereinstimmen, aber zumindest der Trend in dieselbe Richtung geht.

Bis zu diesem Zeitpunkt wurde nur allgemein von Querregelung gesprochen, ohne darauf einzugehen, wie diese genau erfasst werden kann bzw. in den bisher geschilderten Untersuchungen erfasst wurde. Im folgenden Kapitel sollen daher Maße vorgestellt werden, welche die Querregelung einer experimentellen Erhebung zugänglich machen.

5 Messung der Querregelung

Das Autofahren ist schon lange Gegenstand der Forschung (vgl. Gibson & Crooks, 1938). Untersuchungen zu Fahrtauglichkeit, Fahrsicherheit und Fahrerablenkung werden ebenfalls schon sehr lange durchgeführt (vgl. beispielsweise Barjonet, 2001). Für diese Untersuchungen werden auf der einen Seite Körperfunktionen des Fahrers wie Puls, Atemfrequenz oder Hautwiderstand gemessen. Auf der anderen Seite werden fahrzeugbezogene Daten, wie die Geschwindigkeit, die Position des Fahrzeugs oder die Position des Lenkrades, erfasst.

Da die Querregelung einen wichtigen Bestandteil der primären Fahraufgabe darstellt (vgl. EN ISO 17287, 2003), beschäftigt sich die vorliegende Arbeit speziell mit Maßen zur Querregelung. Bereits in den vorangegangenen Kapiteln war bei der Vorstellung von Untersuchungsergebnissen aus Studien oft von Querregelungsmaßen die Rede, ohne dass auf diese Maße genauer eingegangen wurde. Das soll in diesem Kapitel nachgeholt werden.

Speziell für die Analyse der Querregelung wurden im Laufe der Zeit verschiedene Maße entwickelt, die auf der kontinuierlichen Messung der Position des Fahrzeuges bzw. des Lenkrades basieren. Allgemein lassen sich die Maße zur Querregelung in die beiden Kategorien Lenk- und Spurmaße einteilen. Lenkmaße bestimmen sich aus der Position des Lenkrades bzw. aus dem Verlauf von Lenkradpositionen während einer Fahrt. Spurmaße werden aus der Position eines festen Bezugspunkts des Fahrzeuges relativ zu dem Spur- bzw. Straßenverlauf ermittelt. Die Lage und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs spielen bei manchen Spurmaßen ebenfalls eine Rolle. Durch den technischen Fortschritt in der Mess- und der Simulatortechnik wurde es möglich, die nötigen Positionsmessungen immer genauer und mit einer höheren Frequenz vorzunehmen. Dies bildete die Grundlage für die Entwicklung von komplexeren Maßen wie beispielsweise die ‚Time to Line Crossing' (TLC) (siehe Abschnitt 5.1.4) oder die ‚Hochfrequenzkomponenten des Lenksignals' (HFC) (siehe Abschnitt 5.2.3).

Zunächst sollen diese Maße bezüglich ihrer Berechnung, ihrer inhaltlichen Bedeutung sowie ihrer jeweiligen Einschränkungen vorgestellt werden. Die Beschreibungen sind an Knappe, Keinath und Meinecke (2006) angelehnt. Die Auswahl der Maße für die vorliegende Arbeit erfolgte auf Grund ihrer Nennung in der EN ISO 17287 (2003). Zusätzlich wurden Maße verwendet, die in dem Projekt HASTE (Roskam et al., 2002) Verwendung fanden.

5.1 Ausgewählte Spurmaße

In diesem Abschnitt sollen die Spurmaße besprochen werden. Bei jedem Maß wird insbesondere auf die folgenden Punkte eingegangen:

- Wie wird das Maß erhoben bzw. berechnet?
- Wie kann das Maß interpretiert werden?
- Gibt es Probleme oder Einschränkungen bei der Verwendung des Maßes?

5.1.1 Mittelwert der lateralen Position (MLP[1])

Für die Bestimmung dieses Maßes werden in einem regelmäßigen Intervall die Abstände d eines festen Fahrzeugbezugspunktes zu einem festen Fahrbahnbezugspunkt gemessen. Über diese Anzahl an n Messwerten wird gemäß Formel (1) der Mittelwert gebildet:

$$MLP = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{n} \qquad (1).$$

Dieses Maß findet auf Grund seiner einfachen Bestimmung und Berechnung schon sehr lange Verwendung. Der genaue Bezugspunkt, sowohl auf der Fahrzeug- als auch auf der Fahrbahnseite, ist allerdings nicht bindend vorgeschrieben. Aus diesem Grund muss bei untersuchungsübergreifenden Betrachtungen von Ergebnissen der entsprechende Bezugspunkt bekannt sein, damit die MLP-Werte ggf. umgerechnet werden können.

Das Maß MLP liefert in erster Linie einen Hinweis auf die Fahrstrategie des Fahrers. Es zeigt die generelle Orientierung des Fahrzeugs zu dem jeweiligen Fahrbahnbezugspunkt, beispielsweise einer der beiden Spurmarkierungen, auf. Eine extreme Orientierung zu einer der beiden Spurmarkierungen stellt für sich alleine genommen noch keine Gefährdung für den Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer dar. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, die eigene Spur zu verlassen, höher als bei mittiger Fahrt in der Spur.

Obwohl dieses Maß keine direkten Informationen darüber liefert, wie gut oder schlecht die primäre Fahraufgabe erfüllt wird, erscheint eine genauere Betrachtung dieses Spurmaßes lohnenswert. Es soll überprüft werden, ob die MLP als grundlegendes Maß für die Beschreibung der Fahrstrategie auch Unterschiede bei verschiedenen Fahrsituationen und Fahrbedingungen aufzeigen kann.

Als ein Maß der zentralen Tendenz ist seine Verwendung jedoch mit gewissen Problemen behaftet, auf welche im folgenden Abschnitt genauer eingegangen werden soll.

5.1.2 Standardabweichung der lateralen Position (SDLP[2])

Bei diesem Maß bildet ebenfalls die Bestimmung der Abstände d eines festen Fahrzeugbezugspunktes zu einem festen Fahrbahnbezugspunkt die Grundlage. Bei dem Fahrbahnbezugspunkt handelt es sich häufig um eine der beiden Spurmarkierungen. Allerdings wird hier gemäß Formel (2) die Standardabweichung über alle n gemessenen Abstände berechnet. Der mittlere Abstand d_{avg} entspricht dabei demjenigen der MLP (vgl. Abschnitt 5.1.1).

[1] Abkürzung für die englische Bezeichnung: **M**ean **L**ateral **P**osition
[2] Abkürzung für die englische Bezeichnung: **S**tandard **D**eviation of **L**ateral **P**osition

$$SDLP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - d_{avg})^2}{n}} \qquad (2).$$

Die SDLP unterscheidet sich von der MLP zwar in ihrer Berechnung, die Datenerhebung ist für beide Maße jedoch identisch. Dieses Maß wird deshalb ebenfalls schon sehr lange in Untersuchungen eingesetzt. Anders als bei der MLP ist die SDLP jedoch nicht so stark von der Wahl der Bezugspunkte abhängig, da in die Berechnung der Standardabweichung nur die quadrierte Abweichung der Abstände von dem Mittelwert aller gemessenen Abstände eingeht. Die resultierenden SDLP-Werte dürften jedoch größer ausfallen, wenn statt der Fahrzeugmitte beispielsweise das rechte oder linke Vorderrad als Bezugspunkt gewählt wird. Insgesamt sollten sich die Ergebnisse dieses Maßes aus verschiedenen Untersuchungen aber besser miteinander vergleichen lassen als für die MLP.

Die SDLP lässt sich als Abweichung von einer gedachten individuellen Ideallinie, repräsentiert durch die MLP, interpretieren. Je größer der Wert dieses Maßes ausfällt, desto geringer ist gemäß Roskam et al. (2002) die laterale Kontrolle des Fahrers. Diese Betrachtungsweise könnte sich jedoch als problematisch erweisen, was eine Extrembetrachtung in Abbildung 5.1 offenbart:

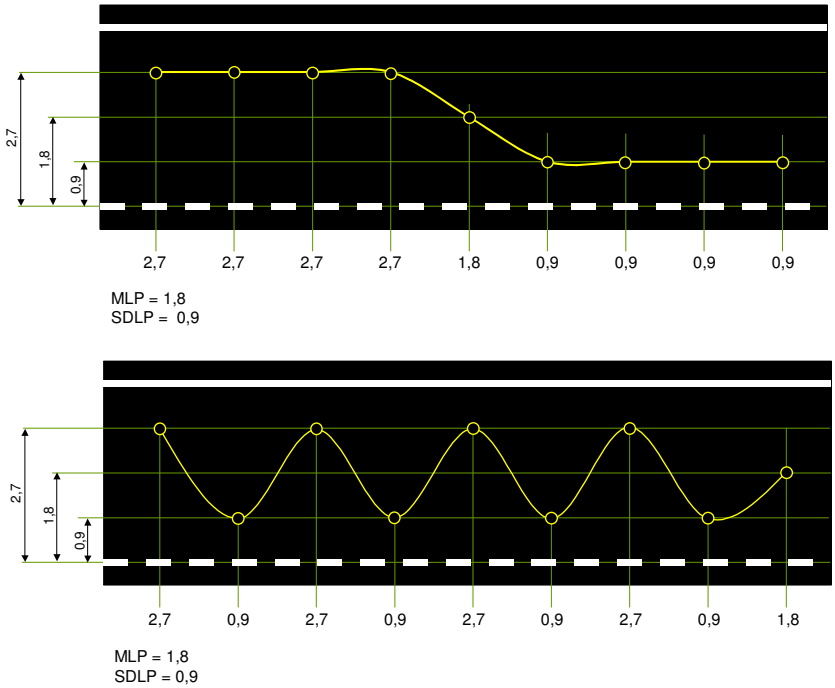

Abbildung 5.1 SDLP-Werte bei extremen Spurverläufen

Wie anhand von Abbildung 5.1 deutlich wird, haben beide Spurverläufe identische MLP- und SDLP-Werte. Dennoch ist die Querregelung im oberen Fall verglichen mit dem unteren Beispiel als stabiler zu bezeichnen, da weniger Korrekturen im Fahrverlauf zu finden sind. Bei der Verwendung dieses Maßes muss folglich sichergestellt sein, dass keine derartig extremen Fahrverläufe gegeben sind.

Auf ein anderes Problem weisen erstmalig Östlund et al. (2005) hin: Wie bei allen Maßen der zentralen Tendenz ist eine gewisse Anzahl an gemessenen Werten notwendig, bis sich ein stabiler Wert für das Maß einstellt. In Abbildung 5.2 ist dieser Sachverhalt mit einem beispielhaften, fiktiven Verlauf der lateralen Position aufgezeigt. Die beiden Kurven im unteren Koordinatensystem zeigen die fortlaufend berechneten SDLP- und MLP-Werte. Das Einschwingverhalten ist hier gut zu beobachten.

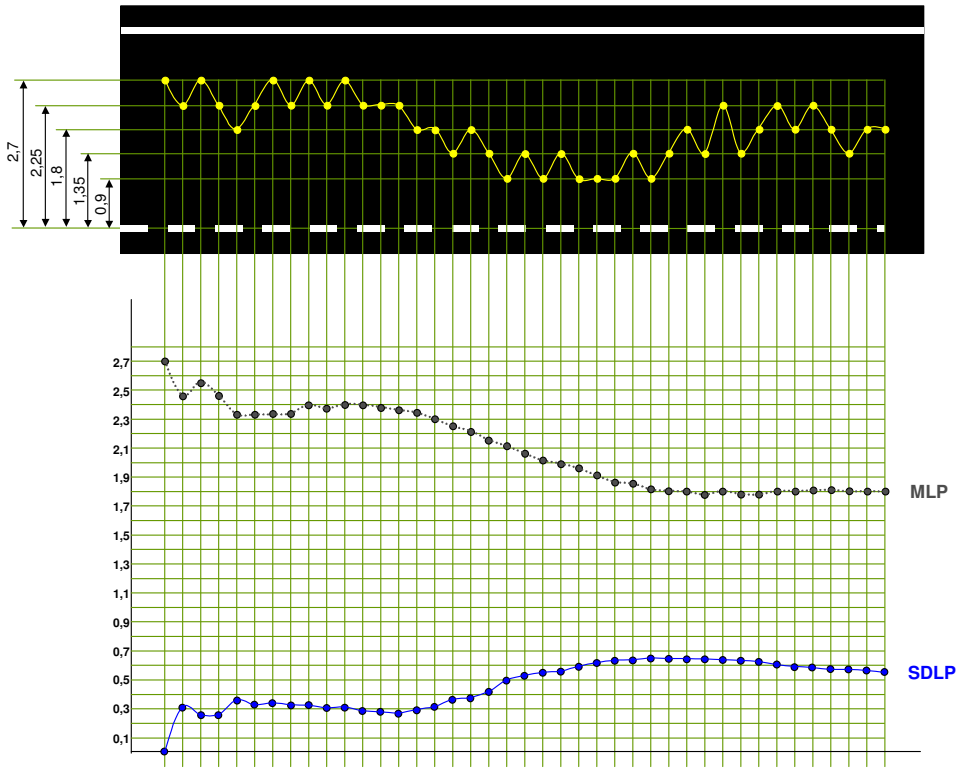

Abbildung 5.2 Einschwingverhalten von MLP und SDLP

Besonders lange dauert das Einschwingverhalten dann, wenn innerhalb der betrachteten Fahrzeit lange, extreme Spurverläufe (vgl. Abbildung 5.1) auftreten.

Östlund et al. (2005) schlagen vor, das Signal der lateralen Position mit einem Hochpassfilter zu filtern, damit sich der SDLP-Wert schneller auf einen stabilen Wert einschwingt. Dieses Maß wird von Östlund et al. (2005) ***M**odified **S**tandard **D**eviation of **L**ateral **P**osition* (MSDLP) genannt. Als Schwellenfrequenz für den Hochpassfilter wird von ihnen 0.1 Hz vorgeschlagen.

Die Auswirkung eines Hochpassfilters auf das fiktive Beispiel in Abbildung 5.2 ist in Abbildung 5.3 qualitativ abgebildet. Durch die Anwendung eines Hochpassfilters werden die niedrigen Frequenzen aus dem Spursignal entfernt. Dies hat zur Folge, dass sich sowohl die MLP als auch die SDLP schneller einem stabilen Wert annähern. In gewissen Grenzen und je nach Schwellenfrequenz des verwendeten Hochpassfilters wird auch das anfangs angesprochene Problem der extremen Spurverläufe durch die Filterung gemindert.

Nachteilig an diesem Vorgehen ist der Sachverhalt, dass durch die Filterung Informationen verloren gehen bzw. die Augenscheinvalidität des Maßes leidet. Ein resultierender MSDLP-Wert ist letztendlich schwieriger zu interpretieren und zu anderen Untersuchungsergebnissen in Relation zu setzen als ein SDLP-Wert.

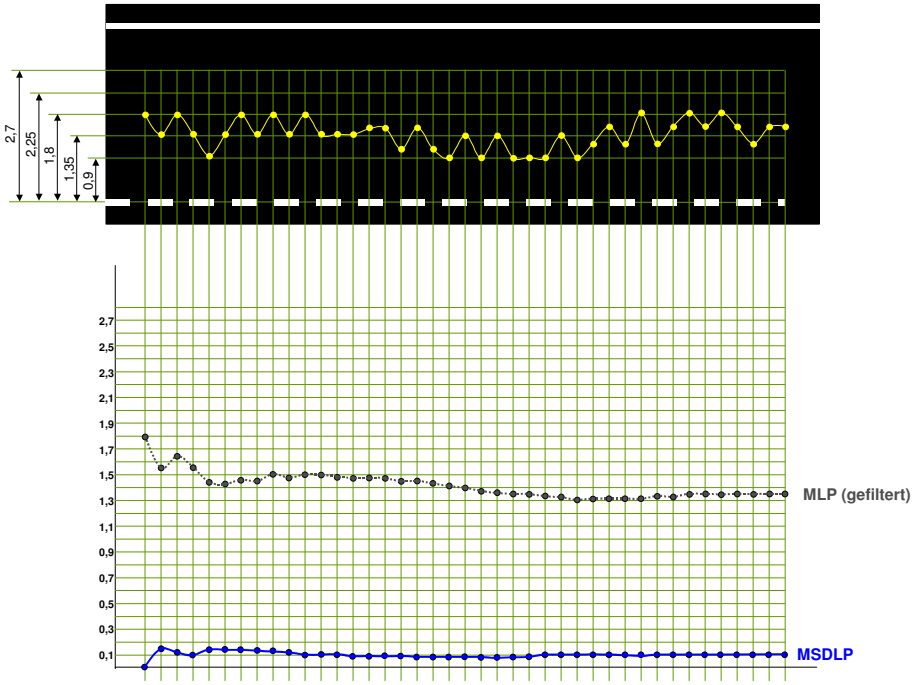

Abbildung 5.3 Filterung des Spursignals und Einschwingverhalten der MSDLP

Das Einschwingverhalten wird besonders dort zum Problem, wo die Spurposition auf Grund von sekundärer Aufgabenbearbeitung oder auch wegen des Streckenverlaufs stark variiert. In vielen Studien wird deswegen die SDLP nur abschnittsweise für besonders interessierende Bereiche ermittelt und verglichen (vgl. beispielsweise Zhang, Smith & Witt, 2006 oder Kirchner, Uddman & Sandin, 2002). Stammen die SDLP-Werte also von gleichen Strecken mit ähnlichen Fahrtbedingungen, kann auf die Berechnung der MSDLP verzichtet werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll ein weiterer Ansatz vorgeschlagen werden, welcher zum Ziel hat, Fahrten mit leicht unterschiedlicher Fahrdauer bzw. Fahrstrecken besser miteinander vergleichen zu können: Im fortlaufend berechneten SDLP-Verlauf wird die erste Hälfte der berechneten Werte ignoriert und erst für die zweite Hälfte dieser fortlaufend berechneten SDLP-Werte der Mittelwert berechnet. Diesem Ansatz liegt der Gedanke zu Grunde, dass im hinteren Teil des Verlaufs das Einschwingen stärker fortgeschritten ist und sich bereits stärker auf den wahren Wert einpendelt hat.

Abbildung 5.4 verdeutlicht das Vorgehen anhand des bereits bekannten Beispiels.

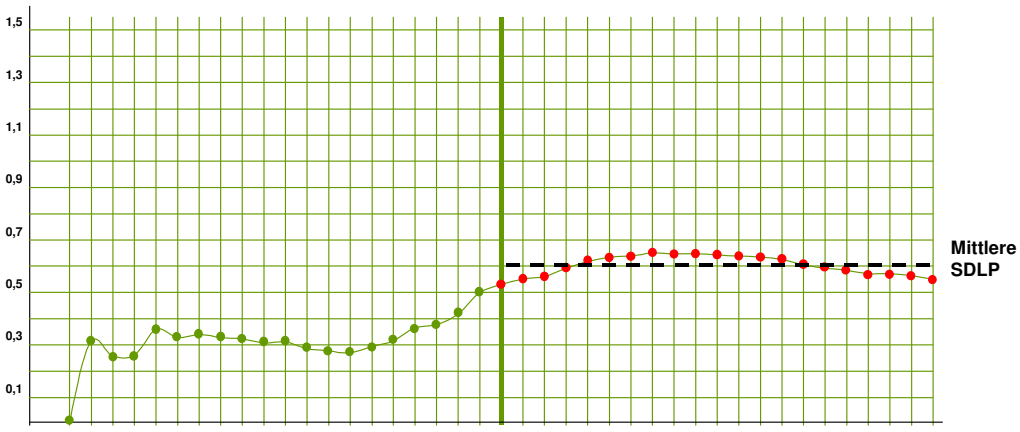

Abbildung 5.4 Bildung der mittleren SDLP aus dem Verlauf der SDLP

Ein solcher Messwert lässt sich leichter interpretieren als ein Messwert, welcher aus der Filterung des SDLP Signals gemäß Östlund et al. (2005) resultiert.

Es sei abschließend erwähnt, dass auch Bestrebungen existieren, in Abhängigkeit von der Höhe des SDLP-Wertes Fahrfehler zu definieren (vgl. beispielsweise Nirschl et al., 2004). Aufgrund der in den letzten Abschnitten ausgeführten Probleme, sollten Fahrfehler aber nur gezielt für interessierende Bereiche betrachtet werden.

5.1.3 Spurüberschreitungen (LANEX[3])

Bei diesem Maß wird die Anzahl der Spurüberschreitungen n_{lanex} gezählt. Eine Spurüberschreitung liegt vor, wenn ein definierter Teil des Fahrzeugs die aktuelle Fahrspur ungeplant, also nicht im Zuge eines Spurwechsels, verlässt.

$$LANEX = n_{lanex} \qquad (3).$$

Die Festlegung, welcher Teil des Fahrzeugs welchen Teil der Spur verlassen muss, damit eine Spurüberschreitung gezählt wird, ist nicht einheitlich. Bei Östlund et al. (2004) wird eine Spurüberschreitung bereits gewertet, wenn die Außenseite des linken oder rechten Reifens die linke oder rechte Spurmarkierung berührt. Eine weniger strenge Definition sieht erst dann das Vorliegen einer Spurüberschreitung, wenn sich mehr als die Hälfte des Fahrzeugs auf der angrenzenden Spur befindet (vgl. beispielsweise Liu, Schreiner & Dingus, 1999).

Das Fehlen einer einheitlichen Festlegung macht es sehr schwierig, Ergebnisse zu diesem Maß untersuchungsübergreifend zu betrachten. Auch wenn die jeweiligen Festlegungen bekannt sind, ist es ohne Vorliegen der Messreihen unmöglich, die Werte entsprechend umzurechnen.

[3] Abkürzung für die englische Bezeichnung: **Lan**e **Ex**ceedance

Sollen LANEX-Werte unterschiedlich langer Strecken oder Fahrzeiten miteinander verglichen werden, muss die Summe der Spurüberschreitungen auf die gefahrene Strecke S (Formel 3a) oder die Fahrtzeit T (Formel 3b) bezogen werden.

$$LANEX = \frac{n_{lanex}}{S} \qquad (3a).$$

$$LANEX = \frac{n_{lanex}}{T} \qquad (3b).$$

Eine weitere Berechnungsmöglichkeit zählt nicht die Häufigkeit der Spurüberschreitungen, sondern betrachtet deren tatsächliche Gesamtlänge S_{lanex} (Formel 4) oder deren gesamte Fahrzeit T_{lanex} außerhalb der Spur (Formel 5):

$$LANEX = S_{lanex} \qquad \mathbf{[m]} \quad (4).$$

$$LANEX = T_{lanex} \qquad \mathbf{[sek]} (5).$$

Auch diese LANEX-Werte können wieder auf die gesamte Fahrtstrecke S (Formel 4a) bzw. die gesamte Fahrtzeit T (Formel 5a) bezogen werden.

$$LANEX = \frac{S_{lanex}}{S} \qquad \mathbf{[-]} \quad (4a).$$

$$LANEX = \frac{T_{lanex}}{T} \qquad \mathbf{[-]} \quad (5a).$$

Das Maß besitzt eine hohe Augenscheinvalidität. Es ist unmittelbar einsichtig, dass ein nicht intendiertes Verlassen der eigenen Spur eine potentielle Gefährdung für den Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer darstellt.

Abhängig von Streckenführung und Versuchsbedingung kann das Auftreten einer Spurüberschreitung zu einem seltenen Ereignis werden, weshalb eine quantitative Interpretation der Versuchsergebnisse erschwert bzw. sogar unmöglich sein kann.

5.1.4 Time to Line Crossing (TLC)

Im Deutschen müsste der Begriff „Zeit bis zu einer Spurüberschreitung“ verwendet werden. Da dieser Begriff unhandlich ist, soll im Folgenden für die Bezeichnung des Maßes der englische Begriff beibehalten werden.

Dieses Maß wurde von Godthelp, Milgram und Blaauw (1984) entwickelt. Zur Bestimmung des Maßes wird in regelmäßigen Abständen die Zeit bestimmt, nach deren Verstreichen ein festgelegter Punkt des Fahrzeugs bei aktuellem Kurs und aktueller Geschwindigkeit eine Spurbegrenzung erreichen würde.

Van Winsum, Brookhuis und de Waard (2000) beschreiben die exakte Bestimmung der TLC. Bei der Implementierung der TLC-Berechnung im Simulator der BMW Group handelt es sich um eine im Rahmen der Arbeit von Kopf (1994) entwickelte Näherung, die eine gute Übereinstimmung mit der exakten Berechnung aufweist: In diese Näherung fließen aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs v [m/s], Gierwinkelgeschwindigkeit y [rad/s], Krümmung der Straße c [1/m], Winkeldifferenz zwischen dem Kurs des Fahrzeugs und der Fahrbahnrichtung α_{dir} [rad], sowie der Abstand zu der Fahrbahnbegrenzung d_{offs} [m] ein. Die Abhängigkeit von der Zeit bis zu einer Spurüberschreitung t_{tlc} [s] und den oben genannten Größen lässt sich als quadratische Gleichung (Formel 6) angeben:

$$0 = \frac{(v - y - v^2 \cdot c)}{2} \cdot {t_{tlc}}^2 - v \cdot \alpha_{dir} \cdot t_{tlc} - d_{offs} \qquad (6).$$

Durch Auflösung der Gleichung mit Hilfe der Determinante für quadratische Gleichungen kann die Zeit bis zu einer Spurüberschreitung berechnet werden. Bei gerader Strecke und exaktem Parallelkurs geht diese Zeit gegen unendlich.

Abbildung 5.5 zeigt beispielhaft einen Verlauf von gemessenen t_{tlc} Werten.

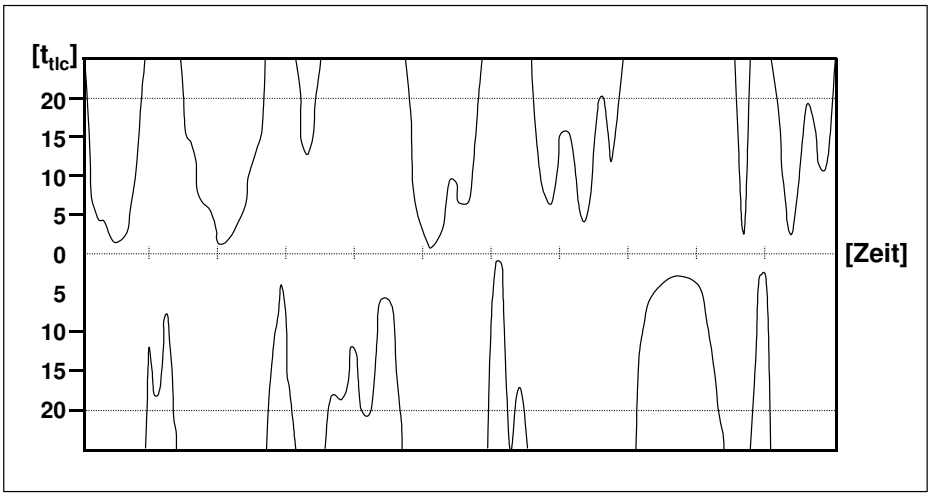

Abbildung 5.5 Beispielhafter zeitlicher Verlauf von t_{tlc} Werten nach Östlund et al. (2004)

In der oberen Hälfte des Graphen in Abbildung 5.5 ist der Verlauf für die Annäherungen zu dem linken Spurrand und in der unteren Hälfte für die Annäherungen an den rechten Spurrand aufgetragen.

Für die Berechnung des eigentlichen TLC-Maßes aus diesem zeitlichen Verlauf sind weitere Schritte notwendig, wobei verschiedene Möglichkeiten existieren. In der Hauptsache werden zunächst die Minima im t_{tlc}-Verlauf bestimmt. Östlund et al. (2004) schlagen vor, bei dieser Minimumsbestimmung alle t_{tlc}-Werte größer als 20 Sekunden zu ignorieren und nur Wellentäler mit einer zeitlichen Dauer größer einer Sekunde zu betrachten (vgl. Abbildung 5.6).

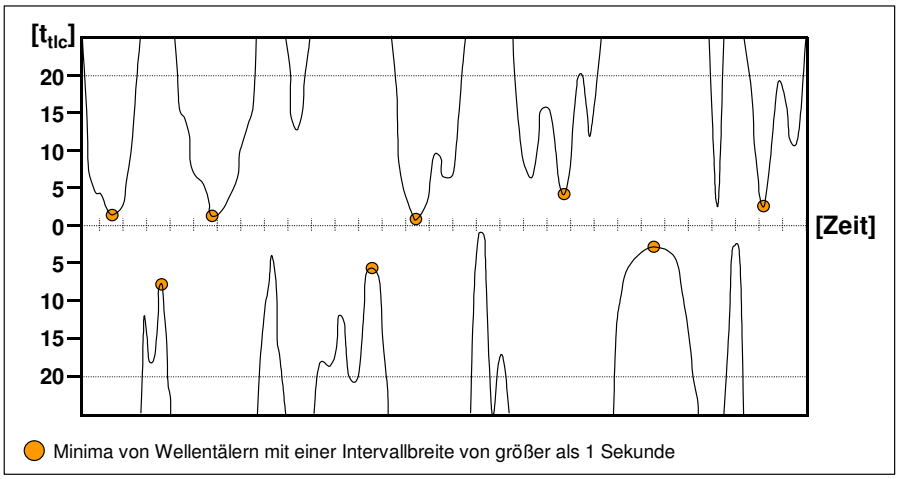

Abbildung 5.6 Minimumsbestimmung im zeitlichen Verlauf von t_{tlc} Werten nach Östlund et al. (2004)

Eine von Östlund et al. (2004) vorgeschlagene Variante, die TLC_{mean}, betrachtet den Mittelwert aller gefundener Minima. Wie bereits beschrieben werden hier Minima größer als 20 Sekunden ignoriert. Minima von Wellentälern mit einer Breite kleiner als eine Sekunde werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Der Mittelwert TLC_{mean} berechnet sich aus der Summe aller Minimumswerte `min(tlc)` geteilt durch die Anzahl aller Minima n_{tlc} gemäß Formel (7):

$$TLC_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{tlc}} \min(tlc)_i}{n_{tlc}} \quad [s] \qquad (7).$$

Je geringer der TLC_{mean}-Wert ausfällt, desto kritischer ist die Fahrleistung einzuschätzen. Die vielen kleinen Minimumswerte bedeuten, dass der Fahrer häufiger kurz vor einer Spurüberschreitung stand.

Aufbauend auf dem Gedanken, dass kleine Minimumswerte als besonders kritisch einzuschätzen sind, relativiert eine zweite Berechnungsvariante den Anteil der Minima unter einem bestimmten Schwellwert an der Gesamtanzahl aller aufgetretenen Minima. Bei dieser ebenfalls von Östlund et al. (2004) vorgeschlagenen Berechnungsvariante, der

TLC_{thresh}, werden ebenfalls Minima größer als 20 Sekunden sowie Minima aus Wellentälern mit einer Breite kleiner als eine Sekunde ignoriert. Die TLC_{thresh} berechnet sich gemäß Formel (8) aus der Anzahl der Minimumswerte kleiner als eine Sekunde $n_{tlc<thresh}$ geteilt durch die Anzahl aller Minima n_{tlc}:

$$TLC_{thresh} = \frac{n_{tlc<thresh}}{n_{tlc}} \quad [-] \qquad (8).$$

Der TLC_{thresh}-Wert ist ohne Vorzeichen. Multipliziert mit 100 ergibt sich ein Prozentwert, der den Anteil der kritisch eingestuften Minimumswerte an allen aufgetretenen Minimumswerten angibt. Je höher dieser TLC-Wert ausfällt, desto schlechter muss wiederum die Fahrleistung eingestuft werden, da die Wahrscheinlichkeit einer Spurüberschreitung entsprechend hoch gewesen ist.

Da die Bestimmung der Minima mit einem gewissen Aufwand verbunden ist, betrachtet die dritte Variante, die TLC_{pct}[4], lediglich die einzelnen Zeiten t_{tlc} bis zu einer Spurüberschreitung. Hier wird die Anzahl der Werte kleiner als ein bestimmter Schwellwert $n_{t_tlc<thresh}$ ins Verhältnis zu der Gesamtzahl aller gemessenen Werte $n_{t_tlc_ges}$ gesetzt.

$$TLC_{pct} = \frac{n_{t_tlc<thresh}}{n_{t_tlc_ges}} \quad [-] \qquad (9).$$

Der TLC-Wert dieser Variante lässt sich einfacher bestimmen, da hier kein Algorithmus zur Bestimmung der Minima geschaffen werden muss. Es werden nur t_{tlc}-Werte unterhalb eines Schwellwerts ausgezählt. Die TLC_{pct} wurde betrachtet, um zu überprüfen, inwieweit sie mit den beiden anderen Varianten (TLC_{mean} und TLC_{thresh}) korreliert, bzw. ob der höhere Aufwand bei der Bestimmung der beiden anderen TLC-Varianten gerechtfertigt ist.

Der Betrachtung der TLC-Minima liegt der Gedanke des Supervisory Driver Models (Blaauw, 1984) zu Grunde (vgl. Abschnitt 3.2). Der Mensch greift erst dann aktiv in die Querregelung ein, wenn ein selbst gewählter Sicherheitsbereich überschritten wurde. Dieser gewählte Sicherheitsbereich kann den steigenden und sinkenden TLC-Minima entnommen werden. Im Falle der TLC_{mean} beschreiben kleine Minimumswerte also einen weiten Sicherheitskorridor. Es wird erst eingegriffen, wenn das Fahrzeug kurz davorsteht, die Fahrspur bei dem augenblicklichen Kurs zu verlassen. Größere TLC_{mean}-Werte zeigen einen engeren Sicherheitskorridor an, d.h. es wird früher eingegriffen, um das Fahrzeug von dem Kurs abzubringen, der es aus der Fahrspur bringen würde.

Dieser zusätzliche Aspekt macht es ein wenig schwierig, zu entscheiden, ob die primäre Fahraufgabe besser erfüllt wird, wenn niedrige oder wenn hohe TLC_{mean}-Werte

[4] Von der Autorin gewählte Abkürzung. Das Subskript pct wurde aus dem englischen Ausdruck „**p**er**c**ent below **t**hreshold“ gebildet.

vorliegen. Auf der einen Seite zeigen niedrige Werte an, dass ein breiter Sicherheitskorridor gewählt wurde. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass sich der Fahrer nicht über Gebühr durch eine sekundäre Aufgabenbearbeitung belastet fühlt. Auf der anderen Seite können niedrige TLC_{mean}-Werte aber auch ein Zeichen dafür sein, dass eine sekundäre Aufgabenbearbeitung derart belastend ist, dass der Fahrer der primären Fahraufgabe nicht mehr zufriedenstellend nachkommen kann. Hohe TLC_{mean}-Werte sprechen aber, wie bereits erwähnt, auch dafür, dass der Fahrer einen engen Sicherheitskorridor gewählt hat, da er die Erledigung einer sekundären Aufgaben als potentiell gefährlich einstuft. Die korrekte Interpretation dieses Maßes ist also nicht ganz unproblematisch und muss deshalb mit besonderer Sorgfalt geschehen.

5.2 Ausgewählte Lenkmaße

In diesem Abschnitt sollen die ausgewählten Lenkmaße vorgestellt werden. Analog zu Abschnitt 5.1 wird in den Abschnitten zu den einzelnen Lenkmaßen auf die Art der Erhebung und die Interpretation eingegangen.

5.2.1 Standardabweichung des Lenkwinkels (SDST[5])

Für die Bestimmung dieses Maßes wird in einem regelmäßigen Intervall die aktuelle Auslenkung des Lenkrades von der Geradeausstellung gemessen. Über alle gemessenen Auslenkungen α_n wird gemäß Formel (10) die Standardabweichung berechnet. Der Ausdruck α_{avg} bezeichnet dabei den Mittelwert über alle Auslenkungen.

$$SDST = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\alpha_i - \alpha_{avg})^2}{n}} \quad [°] \qquad (10).$$

Auch bei der SDST handelt es sich um ein Maß der zentralen Tendenz, so dass hier ähnliche Probleme zu erwarten sind wie beispielsweise bei der SDLP (siehe Abschnitt 5.1.2). Das Lenksignal, welches die Grundlage der SDST Berechnung darstellt, dürfte allerdings hochfrequenter als das Spursignal sein, da sich auf Grund der Trägheit des Fahrzeugs nicht jede Lenkbewegung in einer Positionsänderung niederschlägt.

Die Streckenabhängigkeit dieses Maßes wird als recht hoch eingeschätzt. Kurvige Strecken zwingen den Fahrer zu stärkeren Lenkbewegungen, die sich entsprechend in der SDST niederschlagen (vgl. beispielsweise DIN EN ISO 17287, 2003). Bei der SDLP (vgl. Abschnitt 5.1.2) ist hingegen nicht zwangsläufig Streckenabhängigkeit gegeben, da bei kurvigen Strecken die individuelle Fahrstrategie hinzukommt. Der Fahrer kann also beispielsweise eine Kurve schneiden oder voll ausfahren.

Bei der Verwendung dieses Maßes muss darauf geachtet werden, dass nur Abschnitte mit ähnlicher Streckenführung verglichen werden, damit sinnvolle Aussagen,

[5] Abkürzung für die englische Bezeichnung: **S**tandard **D**eviation of **St**eering Wheel Angle

beispielsweise über den Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung, getroffen werden können.

5.2.2 Steering Reversal Rate (SRR[6])

Dieses Maß wurde von McLean und Hoffman (1975) vorgeschlagen. Die Grundlage bildet ebenfalls die regelmäßige Messung des Lenkradwinkels. Bei der Bestimmung des Maßes werden die aufeinander folgenden Einzelmessungen des Lenkradwinkels als Lenkradwinkelsignal verstanden. Umkehrungen in der Lenkrichtung werden ab einer gewissen Winkelgröße, der so genannten Winkelabstandsgröße (engl.: *gap size*) $\Delta\alpha_{gap}$, gezählt. Abbildung 5.7 verdeutlicht dieses Vorgehen.

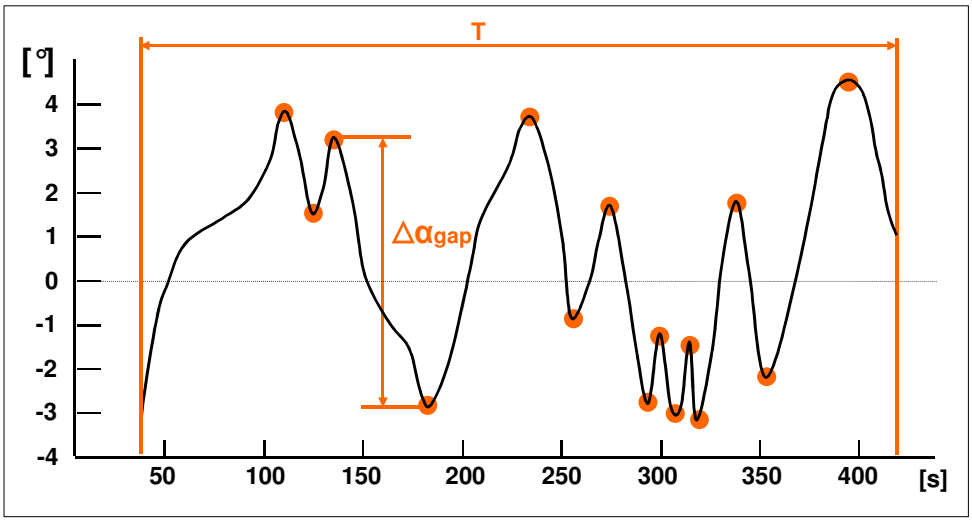

Abbildung 5.7 Verdeutlichung der *Abstandsgröße* $\Delta\alpha_{gap}$ im Lenkradwinkelsignal

Für die Berechnung des Maßes ist jedoch ein größerer rechnerischer Aufwand notwendig als für die SDST. Das Signal sollte geglättet werden, um die korrekte Bestimmung der Extremwerte zu ermöglichen (vgl. Östlund et al., 2005). Diese Glättung geschieht durch einen Tiefpassfilter. In dem geglätteten Signal werden benachbarte Extremwertpaare ausgezählt, deren absolute Winkeldifferenz größer oder gleich der gewählten Winkelabstandsgröße ist.

Die Gesamtanzahl der Extremwertpaare bzw. der Umkehrungen wird durch die gesamte Fahrzeit, gemessen in Minuten, geteilt (siehe Formel 11).

$$SRR = \frac{n_{reversal}}{T} \frac{[1]}{[\text{min}]} \qquad (11).$$

[6] Abkürzung für die englische Bezeichnung **S**teering **R**eversal **R**ate. Der deutsche Begriff hierfür lautet gemäß DIN EN ISO 17283 (2003) Lenkradrückstellrate. Im weiteren Textverlauf soll jedoch die englische Abkürzung Verwendung finden.

Bezüglich der Abstandsgrößen finden sich in der Literatur keine eindeutigen Empfehlungen. Typische Abstandsgrößen liegen zwischen einem zehntel Grad und zehn Grad (vgl. McDonald & Hoffmann, 1980). Bei Östlund et al. (2005) wurde das Maß mit verschiedenen Winkelabstandsgrößen unter verschiedenen Bedingungen berechnet. Anhand der Effektstärke wurde die jeweils optimale Winkelabstandsgröße bestimmt. Für visuell-manuelle Aufgaben zeigen Abstandsgrößen zwischen zwei und vier Grad die größte Sensitivität. Sensitivität bedeutet in diesem Kontext ganz allgemein, dass ein Maß eine tatsächlich gegebene Veränderung der primären Fahraufgabe, beispielsweise durch die Bearbeitung einer sekundären Aufgabe, auch abbilden kann. Inwieweit ein Maß sensitiv auf eine Veränderung reagiert, kann anhand von Effektstärkenbetrachtungen überprüft werden (vgl. Östlund et al. 2004 und Östlund et al. 2005). Bei kognitiven Aufgaben liegt die größte Sensitivität bei Winkelabstandsgrößen von 0.1 bis 0.5 Grad. Damit hängt die optimale Winkelabstandsgröße von der Art der sekundären Aufgabe ab. Es sollte also auch möglich sein, aus einer ermittelten optimalen Winkelabstandsgröße auf die Art der sekundären Aufgabenbearbeitung zu schließen. Bei der Berechnung des Maßes mit geringen Winkelabstandsgrößen muss allerdings die Messgenauigkeit der Lenkradwinkelaufzeichnung berücksichtigt werden. Es muss sichergestellt sein, dass dieses Maß mit Abstandsgrößen berechnet wird, die innerhalb der Messgenauigkeit der Aufzeichnung liegen.

5.2.3 Hochfrequenzkomponenten des Lenksignals (HFC[7])

McLean und Hoffmann (1971) fanden heraus, dass Lenkbewegungen im Bereich von 0.35 und 0.6 Hertz sensitiv für die Bearbeitung von sekundären Aufgaben sind.

Die folgenden Erläuterungen der Bestimmung des HFC-Wertes basieren auf Östlund et al. (2004). Für ein besseres Verständnis sei darauf hingewiesen, dass Lenkbewegungen mit einer Frequenz von unter 0.35 Hertz als niederfrequent angesehen werden. Der Frequenzbereich über 0.6 Hertz gilt als hochfrequentes Rauschen.

Damit der Anteil der interessierenden hochfrequenten Lenkbewegungen ermittelt werden kann, wird das Lenksignal zunächst mit einem Tiefpassfilter gefiltert. Das Rauschen kann beispielsweise durch einen Butterworth Tiefpassfilter zweiter Ordnung mit einer Schwellenfrequenz von 0.6 Hertz aus dem Lenksignal entfernt werden. Das resultierende Signal wird als Gesamtlenksignal[8] bezeichnet.

Eine weitere Filterung mit einem Hochpassfilter liefert das Signal mit dem interessierenden Frequenzband zwischen 0.35 und 0.6 Hertz. Die Filterung kann mit einem Butterworth Hochpassfilter zweiter Ordnung mit einer Schwellenfrequenz von 0.35 Hertz vorgenommen werden. Das eigentliche Lenkmaß HFC berechnet sich aus dem Verhältnis der Signalenergien des Frequenzbandsignals P_{band} und des Gesamtlenksignals P_{gesamt} (vgl. Formel 12):

$$HFC = \frac{P_{band}}{P_{gesamt}} \quad [-] \quad (12).$$

[7] Abkürzung für die englische Bezeichnung: ***H**igh **F**requency **C**omponents*
[8] Übersetzung der Autorin für den englischen Begriff: *all steering activity signal*.

Je höher also ein HFC-Wert ausfällt, desto höher ist auch der Anteil hochfrequenter Lenkbewegungen im Lenksignal. Da in die Berechnung der Signalenergien die Amplitudenhöhe eingeht, wird auch die „Heftigkeit“ der hochfrequenten Lenkbewegungen berücksichtigt. Es ist zu vermuten, dass das Maß für kognitive Aufgaben hoch mit dem Lenkmaß SRR mit kleinen Winkelabstandsgrößen (siehe Abschnitt 5.2.2) korreliert.

Die beschriebene Berechnung gemäß Östlund et al. (2004) stellt nicht die einzige Möglichkeit dar. Bei der Wahl der Grenzen des Frequenzbandes und der verwendeten Filter können ebenfalls Unterschiede gegeben sein, was wiederum die untersuchungsübergreifende Vergleichbarkeit von Ergebnissen einschränkt.

5.2.4 Nulldurchgänge (ZERO)[9]

Bei diesem Maß wird ausgezählt, wie oft der Winkelwert im Lenksignal sein Vorzeichen n_{zero} ändert, oder anders ausgedrückt, wie oft das Lenkrad über die Geradeausstellung hinweg bewegt wird (Formel 13).

$$ZERO = n_{zero} \quad [-] \qquad (13).$$

Sollen Strecken unterschiedlicher Länge miteinander verglichen werden, bietet es sich an, die Nulldurchgänge an der gefahrenen Strecke S (Formel 13a) oder an der gefahrenen Zeit T (Formel 13b) zu relativieren.

$$ZERO = \frac{n_{zero}}{S} \frac{[1]}{[m]} \qquad (13a).$$

$$ZERO = \frac{n_{zero}}{T} \frac{[1]}{[\min]} \qquad (13b).$$

Höhere Werte bei diesem Maß können durch ein unruhigeres Lenkverhalten aufgrund von sekundärer Aufgabenbearbeitung erklärt werden. Allerdings fließt auch der Streckenverlauf in das Ergebnis mit ein, was eine inhaltliche Interpretation des Wertes schwierig macht (vgl. auch Roskam et al., 2002).

Bevor die Nulldurchgänge aus dem Lenkradwinkelsignal ermittelt werden, ist es notwendig, dieses Maß im Bereich des Nullwinkels auf die eine oder andere Weise zu glätten. Leichtes „Zittern“ bzw. Nulldurchgänge mit winziger Amplitudenhöhe müssen entfernt werden, da sie nicht von dem Fahrer erzeugt werden, sondern durch den Totbereich der Lenkung aber auch durch die Messungenauigkeiten bei der Aufzeichnung hervorgerufen werden können (vgl. Roskam et al., 2002).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde dieses „Zittern“ aus dem Lenkradwinkelsignal entfernt, indem alle Werte in einem definierten Bereich um den Nullpunkt auf

[9] Abkürzung für die englische Bezeichnung: ***Zero*** *Crossings*

Null gesetzt wurden. Ein spezieller Algorithmus wurde für das Auszählen der resultierenden Nulldurchgänge entwickelt.

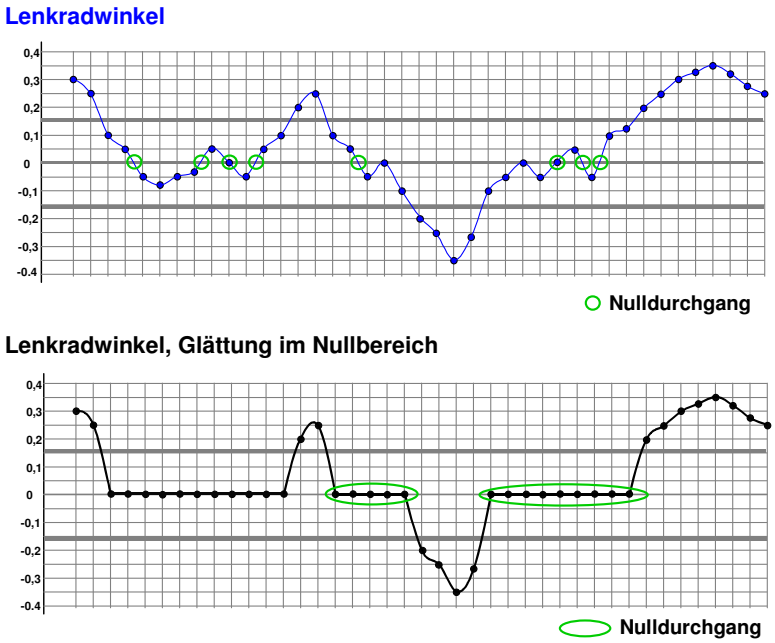

Abbildung 5.8 Glättung des Lenkradwinkelsignals im Nullbereich

Abbildung 5.8 verdeutlicht dieses Vorgehen. Der Zählalgorithmus merkt sich jeweils den letzen Wert, bevor der Wert 0 erreicht wird und zählt dann einen Nulldurchgang, sobald der erste Wert nach einem Nullwert ein entgegengesetztes Vorzeichen zu dem gemerkten Wert hat. Im Beispiel von Abbildung 5.8 sind nach der Glättung nur noch zwei Nulldurchgänge vorhanden anstelle der acht Nulldurchgänge im ungeglätteten Signal.

Obwohl dieses Maß nicht in der DIN EN ISO 17287 (2003) enthalten ist, wurde es mit betrachtet. Es wurde erwartet, dass es sich ähnlich wie die SRR verhält.

5.3 Aussagekraft der Querregelungsmaße

Im Sinne einer effizienten Untersuchungsdurchführung sollten Maße, die redundante Informationen liefern, weitestgehend vermieden werden. Da in alle beschriebenen Spurmaße die Spurposition einfließt, könnten die betrachteten Spurmaße durchaus redundante Informationen liefern. Analog verhält es sich mit der Lenkradposition für die Berechnung der verschiedenen Lenkmaße. Dies betrifft nicht nur Maße innerhalb einer Kategorie: Es wäre auch denkbar, dass Lenk- und Spurmaße ähnliche Informationen liefern, da die Lenkbewegungen einen direkten Einfluss auf die Position des Fahrzeugs in der Spur haben. Andererseits hat, auf Grund des Totbereichs in jeder Lenkung sowie der Trägheit des Fahrzeugs, nicht jede Lenkbewegung eine direkte Auswirkung auf die Position in der Spur. Insgesamt ist es schwierig, allein anhand von theoretischen Überlegungen die Redundanz der genannten Querregelungsmaße abzuschätzen.

Es interessiert also, inwieweit ein Maß in der Lage ist, zwischen unterschiedlichen Szenarien und Bedingungen zu differenzieren. Ideal wäre eine Gruppe von wenigen Maßen, welche für ein breites Spektrum an Bedingungen und Szenarien sensitiv sind. Da die Maße zur Querregelung unterschiedlich aufwändig in ihrer Implementierung sind, stellt sich außerdem die Frage, ob sich der höhere Aufwand bei der Berechnung einiger Maße lohnt.

Darüber hinaus wird das Verhalten der Querregelungsmaße für bestimmte Bedingungen noch nicht vollständig verstanden. Engström et al. (2005) wiesen in einer Teilveröffentlichung aus dem Projekt HASTE darauf hin, dass das Spurmaß SDLP für die Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe überraschenderweise eine Stabilisierung der Querregelung abbildete. Dieses Verhalten war bis dahin nicht vermutet worden, denn eine Metaanalyse von Horrey & Wickens (2004) hatte bei kognitiven Aufgaben keine derartige Stabilisierung gefunden, sondern vielmehr keine Effekte.

Für die Beurteilung der Beeinflussung der primären Fahraufgabe durch die Bearbeitung von sekundären Aufgaben muss zunächst für jedes einzelne Maß erläutert werden, ob eine Erhöhung bzw. eine Verringerung des Wertes eine Stabilisierung oder Instabilität hinsichtlich der primären Fahraufgabe bedeutet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Stabilisierung insgesamt als unkritischer und gefährdungsfreier eingestuft. Für die betrachteten Maße wurde folgende Veränderung als Stabilisierung verstanden:

LANEX: Eine nicht intendierte Spurüberschreitung stellt sowohl für den Fahrer als auch für andere Verkehrsteilnehmer eine Gefährdung dar. Eine geringere Anzahl an Spurüberschreitungen ist daher positiv und wird deshalb im Vergleich zu einer höheren Anzahl als stabilere Querregelung eingestuft.

SDLP: Höhere Werte bei diesem Maß sprechen für eine größere Variabilität der Fahrzeugposition innerhalb der Spur. Dies kann, einmal abgesehen von den beschriebenen extremen Fahrverläufen (vgl. Abschnitt 5.1.2), als unruhigeres Fahren angesehen werden. Diese unruhigere Fahrt erhöht die Wahrscheinlichkeit, Spurüberschreitungen zu verursachen. Ein niedriger Wert bei diesem Maß wird deshalb als stabiler angesehen als ein höherer Wert.

TLC: In Abschnitt 5.1.4 wurde bei der Variante TLC_{mean} bereits erwähnt, dass eine Interpretation dieses Maßes schwierig ist. Kleine Werte bei diesem Maß sprechen auf der einen Seite für einen weiten Sicherheitskorridor. Auf der anderen Seite bedeuten kleine Werte, dass oftmals eine Situation erreicht wurde, bei welcher eine Spurüberschreitung kurz bevorstand. Hohe Werte sprechen für einen engen Sicherheitskorridor, in welchem die Wahrscheinlichkeit für eine Spurüberschreitung geringer ist. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden niedrigere Werte bei der TLC_{mean}, dem Gefährdungsgedanken folgend, als instabiler interpretiert. Bei der TLC_{pct} wurden hohe Werte als instabiler interpretiert, da hier der Anteil an geringen TLC-Werten an allen gemessenen Werten bestimmt wurde. Die TLC_{thresh} wurde wie die TLC_{pct} interpretiert, da hier der Anteil an Minimumswerten unterhalb einer bestimmten Schwelle ermittelt wurde. Ein hoher Anteil bedeutet eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Spurüberschreitung und wird deshalb als instabiler erachtet.

SDST: Größere Werte werden bei diesem Maß durch stärkere Ausschläge des Lenkrades produziert. Diese stärkeren Ausschläge wirken sich auch auf die Spurposition des Fahrzeugs aus, weshalb höhere SDST-Werte tendenziell wie höhere SDLP-Werte interpretiert werden können. Es sei an dieser Stelle aber noch einmal darauf hingewiesen, dass durch die Trägheit des Fahrzeugs sowie den Totbereich der Lenkung nicht jede Lenkbewegung eine unmittelbare Auswirkung auf die Spurposition hat.

SRR: Anders als bei der SDST gehen bei der Berechnung der SRR nicht alle Lenkbewegungen ein. Vielmehr werden nur Umkehrungen im Lenkwinkelsignal ab einer bestimmten Winkelabstandsgröße gemessen. Je größer dieser Winkelabstand angesetzt wird, desto abrupter sind wahrscheinlich die Lenkbewegungen und desto größer sind die resultierenden Änderungen in der Spur. Bei größeren Winkelabstandsgrößen kann daher ein hoher SRR Wert analog zu der SDLP als instabilere Querregelung interpretiert werden. Bei kleineren Winkelabstandsgrößen, die nach Östlund et al. (2005) vor allem bei sekundären kognitiven Aufgaben sensitiv sein sollen, wird die Interpretation schwieriger. Da aber auch die Lenkradumkehrungen mit höheren Abstandsgrößen mitgezählt werden und viele Lenkbewegungen als Zeichen von Unruhe interpretiert werden können, werden höhere SRR-Werte auch bei kleineren Winkelabstandsgrößen als instabiler bewertet.

HFC: Ein großer HFC-Wert steht für einen hohen Anteil hochfrequenter Lenkaktivität. Hochfrequente Lenkaktivität geht eher mit einer niedrigen Amplitude des Lenkwinkels einher. Bei solchen Mikrolenkbewegungen ist es eher unwahrscheinlich, dass diese eine große Auswirkung auf die Lage des Fahrzeugs haben. Dies macht es schwierig, dieses Maß zu interpretieren. Da häufige, kleine Lenkkorrekturen aber auf eine gewisse Unruhe hindeuten, werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit hohe Werte als instabiler angesehen als niedrige Werte.

ZERO: Bei diesem Maß wird erwartet, dass es sich ähnlich verhält, wie die aufwändiger zu berechnende SRR. Da hier Mikrolenkbewegungen im Totbereich herausgefiltert werden (vgl. Abschnitt 5.2.4), deutet ein großer Wert häufige, größere Lenkbewegungen an, welche die Spurposition beeinflussen. Höhere Werte werden deswegen als instabilere Querführung interpretiert.

MLP: Fahrer können generell eher am linken oder rechten Spurmarkierungsrand fahren sowie relativ mittig in der eigenen Fahrspur. Bei einer mehrspurigen Autobahn ist

das Fahren auf der rechten Spur mit einer starken Ausrichtung an dem rechten Spurmarkierungsrand potentiell am sichersten. Die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit einem schnelleren überholenden Fahrzeug ist am geringsten und der Seitenstreifen bietet bei eventuell auftretenden Problemen eine Ausweichmöglichkeit. Bei Fahrten auf der mittleren Fahrspur ist die Interpretation etwas schwieriger. Hier dürfte eine Ausrichtung nach rechts aber ebenfalls als sicherer empfunden werden, da der Verkehr auf der rechten Fahrspur in aller Regel langsamer ist bzw. von dem eigenen Fahrzeug überholt wird. Insgesamt ist es bei diesem Maß schwieriger, von stabiler oder instabiler Querregelung zu sprechen. Es wird aber im Rahmen der vorliegenden Arbeit vermutet, dass bei der Bearbeitung einer fordernden sekundären Aufgabe, aus den genannten Gründen, eher eine Ausrichtung zu dem jeweils rechten Fahrbahnrand erfolgen sollte.

6 Zielsetzung der Arbeit

In Kapitel 4 wurde ausführlich die Problematik der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Fahrsimulatoruntersuchungen auf Realfahrten thematisiert. Probanden zeigen beim Fahren in einem Fahrsimulator oft ein anderes Verhalten als während einer Realfahrt. Die Gründe für dieses abweichende Verhalten sind nicht vollständig bekannt. Als mögliche Ursachen werden fehlendes Risikobewusstsein, unterschiedliche visuelle und haptische Informationen genannt.

Damit der Grad der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Fahrsimulatoruntersuchungen überhaupt abgeschätzt werden kann, werden die eingesetzten Fahrsimulatoren häufig einer Validierung unterzogen. Eine physikalische Validierung alleine ist dabei nicht ausreichend, da diese nur prüft, ob identische Steuerbefehle in der Realität und in dem Fahrsimulator jeweils identische Wirkungen haben (Blana, 1996). Das unterschiedliche Verhalten des Menschen in einem Fahrsimulator verglichen mit einer Realfahrt wird bei dieser Art der Validierung nicht berücksichtigt. Durch eine sogenannte Verhaltensvalidierung wird daher ermittelt, ob sich die gewonnenen Ergebnisse aus einer Fahrsimulatoruntersuchung absolut oder relativ mit einer Realfahrt vergleichen lassen. Wie in Kapitel 4 herausgearbeitet wurde, finden die meisten Validierungsuntersuchungen bezüglich einer oder mehrerer Kriterien relative Validität.

Die Kriterien, welche einer Verhaltensvalidierung unterzogen werden, können recht unterschiedlich sein (vgl. Kapitel 4). Häufig erfolgt eine solche Verhaltensvalidierung jedoch für Maße der Querregelung, da diese Maße oft als abhängige Variablen in Fahrsimulatoruntersuchungen verwendet werden. Die Querregelung wird darüber hinaus als Basis für die Erfüllung der primären Fahraufgabe gesehen (vgl. EN ISO 17287, 2003). Verändert sich die Querregelung während der Bearbeitung einer sekundären Aufgabe, kann auf eine Beeinflussung der primären Fahraufgabe durch diese sekundäre Aufgabenbearbeitung geschlossen werden.

Wie in Kapitel 5 gezeigt wurde, existiert eine große Anzahl an Maßen zur Querregelung, für welche zudem verschiedene Berechnungsmethoden existieren. Vorliegende Untersuchungen zur Verhaltensvalidierung ziehen aber selten mehr als ein oder zwei Querregelungsmaße heran, unter anderem wegen der Schwierigkeit, die entsprechenden Maße in einem realen Fahrzeug zuverlässig zu erheben. Aber auch, wenn die Querregelungsmaße für einen Fahrsimulator zumindest relative Validität abbilden, kann daraus nicht geschlossen werden, dass Ergebnisse von verschiedenen Fahrsimulatoren ebenfalls vergleichbar ausfallen. Hier ist es entscheidend, dass der relative Trend des Maßes bei den beiden Fahrsimulatoren unter derselben Bedingung vergleichbar ausfällt. Neuere Untersuchungen belegen, dass dies für unterschiedliche Fahrsimulatortypen nicht der Fall ist. Jamson und Mouta (2004) fanden erhebliche Unterschiede zwischen einem Einfachsimulator und einem Fahrsimulator mittlerer Komplexität. Die Vergleichbarkeit von Ergebnissen aus Untersuchungen in verschiedenen Fahrsimulatorvarianten ist hingegen noch kaum untersucht. Eine aktuelle Studie (Östlund et al., 2005) fand Unterschiede zwischen zwei Fahrsimulatorvarianten, wobei hier ein sehr spezielles, testspezifisches

Maß untersucht wurde, weshalb keine verallgemeinernden Aussagen hinsichtlich der Querregelung getroffen werden können.

In Kapitel 4 wurden Grundlagenuntersuchungen genannt, welche darauf hindeuten, dass relativ geringfügig anmutende Unterschiede, wie die Auflösung bei der Bildgebung oder das zur Verfügung stehende Sichtfeld, einen Einfluss auf die Ergebnisse einer Fahrsimulatoruntersuchung haben können. Allerdings liefern auch diese Grundlagenuntersuchungen keine eindeutigen Ergebnisse. So widersprechen sich die Ergebnisse von Chatziastros et al. (1999) und Jamson (2001) bezüglich des Einflusses der Größe des Sichtfeldes. Darüber hinaus kommt auch bei diesen Studien erschwerend hinzu, dass bei Chatziastros et al. (1999) und Jamson (2001) unterschiedliche Querregelungsmaße zum Einsatz kommen.

Die Beantwortung der Frage, ob sich zwei Fahrsimulatorvarianten in ihren Ergebnissen unterscheiden oder nicht, lässt sich mit Hilfe rein theoretischer Überlegungen ebenfalls nicht beantworten. Wie in den Kapiteln 2 und 3 herausgearbeitet wurde, sind die komplexen Vorgänge der visuellen Wahrnehmung im Allgemeinen und beim Autofahren im Speziellen noch nicht vollständig geklärt.

Da weder existierende Studien noch theoretische Überlegungen eindeutige Schlussfolgerungen zulassen, inwieweit sich die Untersuchungsergebnisse von zwei Fahrsimulatorvarianten, unter ansonsten identischen Bedingungen, vergleichen lassen, sollte diese Frage anhand der vorliegenden Arbeit beantwortet werden. Dazu wurden insgesamt vier Experimente an zwei statischen Fahrsimulatoren durchgeführt. Die untersuchten Bedingungen reichten dabei von einer starken Sichtfeldeinschränkung bis hin zur Untersuchung des Einflusses von Referenzrahmen, des Sichtfeldes, sowie klassischer sekundärer Aufgabenbearbeitung, als auch Unterschiede im Szenario durch Zu- und Wegschalten von Fremdverkehr. Bei den sekundären Aufgaben wurde sowohl der Einfluss einer visuell-manuellen Aufgabe als auch der Einfluss von zwei unterschiedlichen kognitiven Aufgaben überprüft. Speziell im Hinblick auf die Wirkung des Fremdverkehrs liegen noch nicht viele Erkenntnisse vor. Chatziastros (2003) untersuchte gezielt die Wirkung eines einzelnen Fremdfahrzeugs. Die Wirkung eines kontinuierlichen Überholens von Fremdverkehr auf einer anderen Fahrspur wurde hingegen noch nicht betrachtet.

In Tabelle 6.1 sind alle untersuchten Einflussfaktoren zusammenfassend dargestellt. Ein ‚**X**' kennzeichnet die Einflussfaktoren, welche in dem entsprechenden Experiment genauer untersucht wurden. Für experimentalübergreifende Aussagen wurden in allen vier Experimenten die beiden Fahrsimulatorvarianten betrachtet. Die übrigen Einflussfaktoren wurden so auf die Experimente verteilt, dass bei keinem Experiment zu viele Einflussfaktoren gleichzeitig betrachtet wurden. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass der Einflussfaktor sekundäre Zweitaufgabenbearbeitung Gegenstand von mehreren Experimenten war. Das Vorgehen sollte zuverlässigere Aussagen ermöglichen, da diesem Einflussfaktor eine große Bedeutung bei der Absicherung von neuen Fahrerinformationssystemen zukommt.

Tabelle 6.1 Übersicht über die untersuchten Einflussfaktoren pro Experiment

	Experiment 1	**Experiment 2**	**Experiment 3**	**Experiment 4**
Fahrsimulatorvariante	**X**	**X**	**X**	**X**
Peripheres Sehen	**X**			**X**
Vertikalen Balken			**X**	
Bildqualität			**X**	
Sichtfeld			**X**	
Sekundäre Aufgabe ‚visuell-manuell'		**X**	**X**	**X**
Sekundäre Aufgabe ‚kognitiv 1'		**X**		**X**
Sekundäre Aufgabe ‚kognitiv 2'			**X**	**X**
Fremdverkehr		**X**		

Legende: X = innerhalb eines Experiments untersuchte Einflussfaktoren

Neben der Frage, ob die genannten Einflussfaktoren, von denen manche eher Grundlagencharakter aufweisen, andere eher dem klassischen Anwendungsfall der Prototypentestung mittels sekundärer Aufgabenbearbeitung entsprechen, zu unterschiedlichem Verhalten bei den beiden Fahrsimulatorvarianten führen, sollte gleichzeitig auch das Maßverhalten als solches - innerhalb einer Bedingung und getrennt für die beiden Fahrsimulatorvarianten - betrachtet werden. Wie in Abschnitt 5.3 beschrieben, fand sich beispielsweise für eine kognitive sekundäre Aufgabenbearbeitung eine Stabilisierung in der Querregelung, die so in der Mehrzahl der Veröffentlichungen aufgetreten ist. Innerhalb der vorliegenden Arbeit sollte deshalb unter anderem überprüft werden, ob sich dieses Ergebnis replizieren lässt und ob es sich für weitere der in Kapitel 5 vorgestellten Querregelungsmaße bzw. Berechnungsvarianten nachweisen lässt.

Durch diese experimentalübergreifenden systematischen Vergleiche sollten Querregelungsmaße identifiziert werden, die sich für die Bestimmung des Einflusses von verschiedenen Bedingungen besonders gut eignen. Mit den Erkenntnissen sollen zukünftige Versuche und die nötigen Auswertungen effizient durchgeführt werden können. So sollte beispielsweise herausgefunden werden, ob das einfacher zu berechnende Maß „Zero Crossings" ähnliche Veränderungen im Lenkverhalten abbildet wie das Lenkmaß „Steering Wheel Reversal Rate".

7 Gemeinsamkeiten der vier Experimente

In diesem Kapitel soll zunächst auf experimentalübergreifende Gemeinsamkeiten eingegangen werden, bevor in den nachfolgenden Kapiteln die einzelnen Experimente detailliert betrachtet werden. Wie bereits in Kapitel 6 angesprochen, beschäftigt sich die vorliegende Arbeit unter anderem mit der Quantifizierung von Einflussfaktoren auf die Querregelung in Abhängigkeit von der eingesetzten statischen Fahrsimulatorvariante. Zunächst werden deshalb die beiden statischen Fahrsimulatorvarianten, die in allen vier Experimenten eingesetzt wurden, hinsichtlich ihrer Gemeinsamkeiten und Unterschiede beschrieben. Computerarchitektur und Datenerfassung, ebenso wie Streckenverlauf und Fremdverkehr, galten ebenfalls für alle vier Experimente, weshalb auch auf diese Punkte in dem vorliegenden Kapitel eingegangen wird. Den Abschluss des Kapitels bildet die qualitative Effektstärkenbetrachtung für alle beschriebenen Maße bzw. Maßvarianten.

7.1 Statische Fahrsimulatorvarianten

Die BMW Group verfügt neben einem dynamischen Simulator (vgl. Huesmann, Ehmanns & Wisselmann, 2006) auch über statische Fahrsimulatoren. Diese Simulatoren befinden sich seit dem Sommer 2006 im „Zentrum für Fahrsimulation und Usability“. Die statischen Fahrsimulatoren stehen in zwei Varianten zur Verfügung. Sie bestehen jeweils aus einer Sitzkiste und einer Bildfläche (vgl. Kapitel 4). Die Sitzkiste, in welcher der Proband während der Experimente saß und „fuhr“, besaß weder hinteren Fahrgastraum noch Kofferraum, dafür aber einen vollständigen Innenraum mit funktionstüchtigen Bedienelementen und eine komplette Motorhaube. Die Abmessungen der Sitzkiste entsprachen in etwa einer 7er BMW Limousine, wie sie zwischen 1994 und 2001 gebaut wurde. Der Fahrersitz in der Sitzkiste konnte horizontal und vertikal so verstellt werden, dass die Augenhöhe des Probanden über dem Boden, der so genannte Augpunkt, individuell auf die softwareseitige Vorgabe eingestellt werden konnte. Dies gewährleistete eine korrekte Projektion der Fahrszene und der Motorhaube auf die Retina. Die Lenkung lieferte in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Lenkradeinschlag einen simulierten Lenkwiderstand. Der Widerstand von Gas- und Bremspedal war ebenfalls der Realität angenähert. Eingebaute Lautsprecher erzeugten ein an die Geschwindigkeit angepasstes Fahrgeräusch. Das Fahrgeräusch vorbeifahrender Fremdfahrzeuge wurde ebenfalls simuliert. Durch Raumklang war ein Abschätzen von Richtung und Entfernung der Fremdfahrzeuge möglich.

Die Art der Erzeugung der Fahrszene auf der Bildfläche stellte den eigentlichen Unterschied zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten der BMW Group dar. In den beiden folgenden Abschnitten sollen die damit einhergehenden Unterschiede erläutert werden.

7.1.1 Fahrsimulatorvariante „Projektion“

Bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ war die Bildfläche durch eine winklig aufgestellte Projektionswand realisiert. Bis einschließlich Experiment 2 bestand diese Projektionswand aus einer mit weißer Dispersionsfarbe angestrichenen Holzwand. Einhergehend mit dem Umzug des Simulators in das neue „Zentrum für Fahrsimulation und Usability“ wurde die Projektionsleinwand erneuert und bestand ab Experiment 3 aus bespanntem Stoff. Auf diese Wand wurde die Fahrszene mittels dreier LCD Projektoren mit einer Auflösung von 1280x1024 Pixel und einer Bildwiederholfrequenz von 60 Hz projiziert. Die Sitzkiste war so aufgestellt, dass der Fahrer mittig zur zentralen Leinwand saß und der Abstand zwischen Auge und Leinwand 3.3 Meter betrug. Der Augpunkt war bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ auf 1.2 Meter festgelegt. Die Bereiche der Leinwand, auf denen das Bild projiziert wurde, ergaben insgesamt ein horizontales Sichtfeld von 135° und ein vertikales Sichtfeld von 38.5°. In Abbildung 7.1 sind die Abmessungen für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zusammenfassend dargestellt.

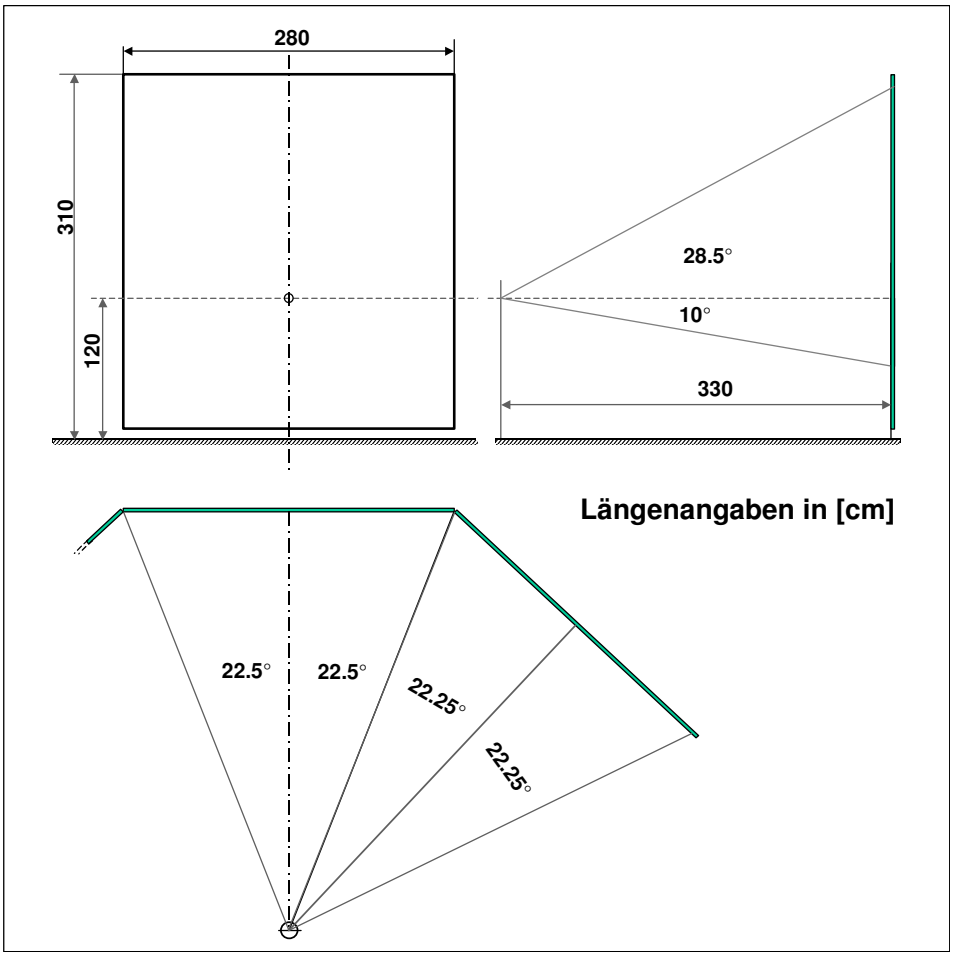

Abbildung 7.1 Abmessungen Fahrsimulatorvariante „Projektion“

7.1.2 Fahrsimulatorvariante „Plasma“

Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ war die Bildfläche durch drei winklig aneinander gestellte Plasmabildschirme realisiert. Diese befanden sich unmittelbar oberhalb der Motorhaube, damit das vertikale Sichtfeld nicht zu klein ausfiel. Die Plasmabildschirme hatten eine Auflösung von 1280x768 Pixel und eine Bildwiederholfrequenz von 70 Hz. Die Sitzkiste war so aufgestellt, dass der Fahrer mittig vor dem zentralen Bildschirm saß und der Abstand zwischen Auge und Bildschirm 1.98 Meter betrug. Der Augpunkt war bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ ebenfalls auf 1.2 Meter festgelegt. Insgesamt stand dem Fahrer ein horizontales Sichtfeld von 96° und ein vertikales Sichtfeld von 17.8° zur Verfügung. Die Abmessungen für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ befinden sich in Abbildung 7.2.

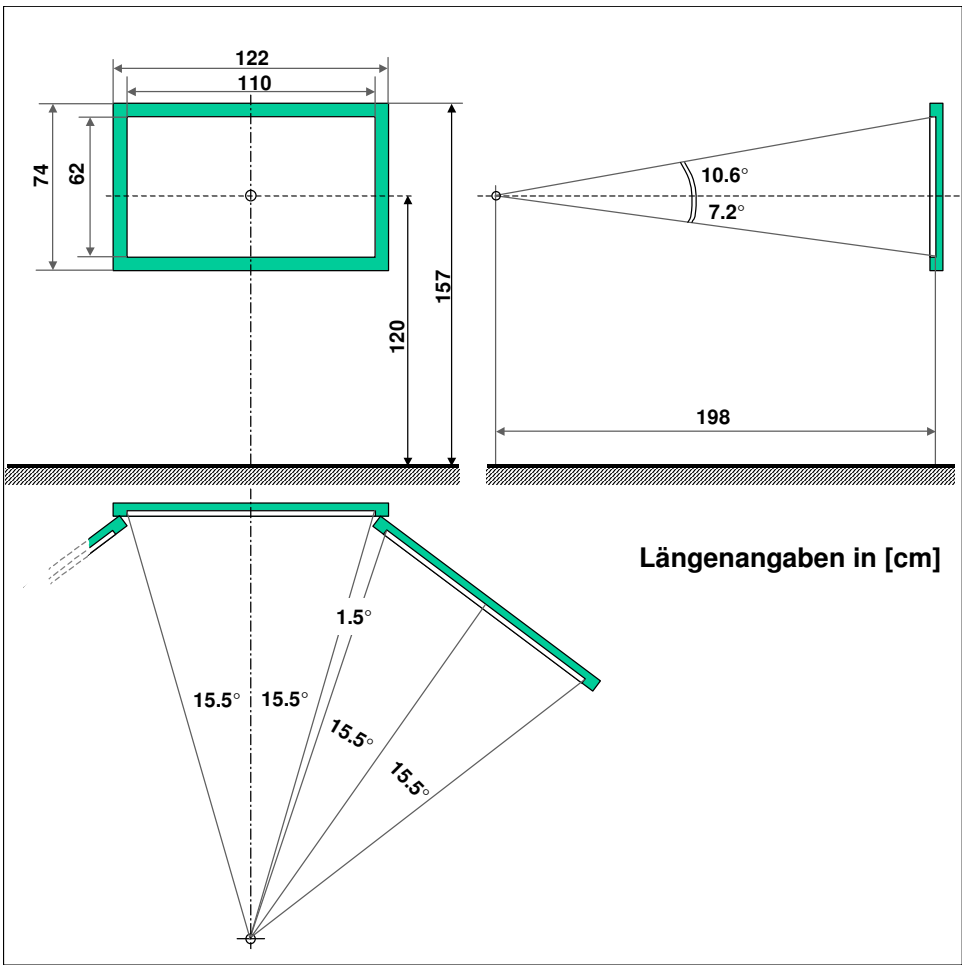

Abbildung 7.2 Abmessungen Fahrsimulatorvariante „Plasma“

7.1.3 Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten

In geometrischer Hinsicht unterschieden sich die beiden Fahrsimulatorvarianten vor allem hinsichtlich der Größe des horizontalen und des vertikalen Sichtfeldes, sowie hinsichtlich des Abstands zwischen Bildfläche und Fahrer. Da die Fahrszene so errechnet wird, dass Augpunkt und Fluchtpunkt zusammenfallen, wurde bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ im Bereich unterhalb des Fluchtpunktes weniger dargestellt (7.8°) als bei der Variante „Projektion“ (10°). Dies hatte zur Folge, dass bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ die Motorhaube einen Teil der Fahrbahn verdeckte, wodurch ein Bezug zwischen Sitzkiste und Fahrszene entstand. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ war dies aufstellungsbedingt nicht gegeben (vgl. 7.1.2).

Abbildung 7.3 Ansicht der Fahrsimulator „Projektion“ (links) und „Plasma“ (rechts)

Hervorgerufen durch den Bildschirmrahmen der Plasmabildschirme wurde die dargestellte Fahrszene bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ durch zwei vertikale Balken segmentiert (siehe .Abbildung 7.3)

Durch das unterschiedliche horizontale und vertikale Sichtfeld in Kombination mit der Plasmabildschirm- bzw. Projektorauflösung resultierten auch unterschiedliche Auflösungen in der Bildgebung. Hier wies die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ horizontal eine Auflösung von 41.3 Pixel/Grad und vertikal eine Auflösung von 43.1 Pixel/Grad auf. Die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ erreichte eine horizontale Auflösung von 27.8 Pixel/Grad und eine vertikale Auflösung von 26.6 Pixel/Grad.

Darüber hinaus unterschieden sich die Bildflächen auch im Hinblick auf Kontrast- und Leuchtdichte. Mit dem Ziel, diese Unterschiede quantifizieren zu können, wurden für beide Fahrsimulatorvarianten Leuchtdichtemessungen an demselben Standbild durchgeführt. Abgesehen von der dargestellten Fahrszene war die Umgebung während der Messung komplett abgedunkelt. Die Messung selbst wurde mit einer ortsauflösenden Leuchtdichte- und Farbmesskamera der Marke Technoteam vorgenommen.

In Abbildung 7.4 auf der nächsten Seite ist die Leuchtdichte für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ dargestellt. Die minimale Leuchtdichte für diese Fahrsimulatorvariante lag bei ca. 7 cd/m^2, die maximale Leuchtdichte bei ca. 63 cd/m^2. Da der Straßenverlauf für die Querregelung naturgemäß eine zentrale Rolle spielt, wurden die Leuchtdichtwerte von

Asphalt und Straßenmarkierung betrachtet. Die Leuchtdichte für den Asphalt lag bei dieser Fahrsimulatorvariante bei ca. 21 cd/m^2. Die Leuchtdichte für die Straßenmarkierung erreichte mit ca. 63 cd/m^2 den Höchstwert.

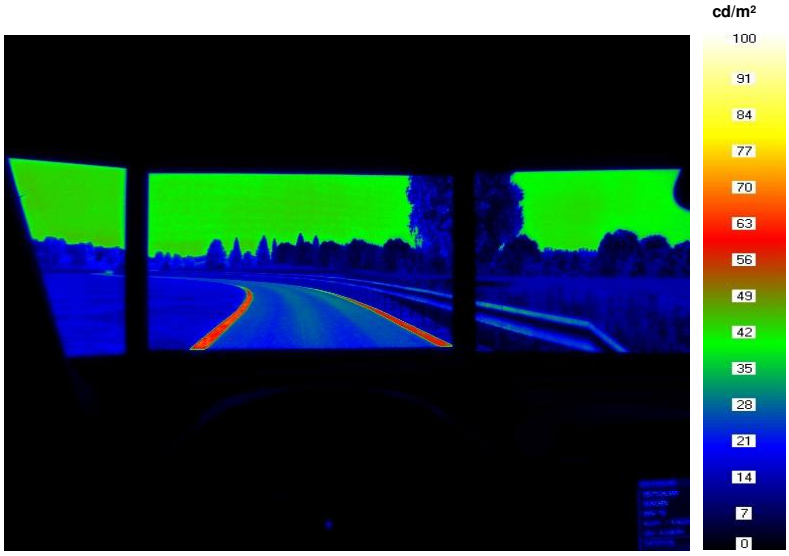

Abbildung 7.4 Leuchtdichteübersicht Fahrsimulatorvariante „Plasma“

Abbildung 7.5 kann die Leuchtdichte für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ entnommen werden. Die Messung wurde an einem Versuchsaufbau aus Experiment 3 vorgenommen, bei welcher die Projektionsfläche durch Abdeckungen der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ angeglichen wurde. Hier lag die minimale Leuchtdichte bei ca. 0 cd/m^2 und die maximale Leuchtdichte bei ca. 28 cd/m^2. Die Leuchtdichte für den Asphalt betrug für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ ca. 8 cd/m^2. Mit ca. 28 cd/m^2 erreichte die Leuchtdichte der Straßenmarkierung das Maximum.

Abbildung 7.5 Leuchtdichteübersicht Fahrsimulatorvariante „Projektion“

Aus den Leuchtdichtewerten lässt sich jeweils der Kontrast berechnen. In der Literatur finden sich verschiedene Berechnungsvarianten. Für den vorliegenden Kontext

bieten sich zwei Varianten an. Bei der ersten handelt es sich um den sogenannten Michelson Kontrast, der für die Kontrastbestimmung von periodischen Mustern eingesetzt wird (vgl. beispielsweise Peli, 1990):

$$C_{\text{Michelson}} = \frac{L\max - L\min}{L\max + L\min} \qquad (14).$$

Da im vorliegenden Fall höchstens die Fahrbahnmittellinie als sich wiederholendes Muster angesehen werden kann, bietet sich hier eher die Berechung des Weber Kontrasts an. Der Weber Kontrast bestimmt den Kontrast eines Bildgegenstandes (target) mit einheitlicher Leuchtdichte gegen einen einheitlichen Hintergrund (vgl. Peli, 1990):

$$C_{Weber} = \frac{L_{t\arg et} - L_{h\,\text{int}ergrund}}{L_{h\,\text{int}ergrund}} \qquad (15).$$

In Tabelle 7.1 sind die Kontrastwerte getrennt nach Formel und Fahrsimulatorvariante zusammenfassend dargestellt. Die Eingangsgrößen für die Berechnung stellen jeweils die Leuchtdichtewerte des Asphalts sowie der Straßenmarkierung dar.

Tabelle 7.1 Kontrastwerte für beide Fahrsimulatorvarianten

Fahrsimulator-variante	Leuchtdichte Asphalt	Leuchtdichte Markierung	Kontrastwert Michelson	Kontrastwert Weber
„Plasma“	21	63	0.49	2.0
„Projektion“	8	28	0.55	2.5

Obwohl die Leuchtdichtewerte bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ mehr als doppelt so hoch waren, fällt der Kontrast zwischen Fahrbahn und Spurmarkierung nach beiden Formeln für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ etwas größer aus.

Tabelle 7.2 fasst in einer Übersicht die Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten zusammen.

Tabelle 7.2 Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten

	„Plasma“	„Projektion“
Horizontales Sichtfeld	96°	135°
Vertikales Sichtfeld	17.8°	38.5°
Horizontale Auflösung	41.3 Pixel/Grad	27.8 Pixel/Grad
Vertikale Auflösung	43.1 Pixel/Grad	26.6 Pixel/Grad
Größe des vertikalen Sichtfeldes unterhalb des Fluchtpunktes	7.2°	10.0°
Bezugselemente innerhalb der Fahrszene	Monitorrahmen	Motorhaube
Minimale Leuchtdichte	21 cd/m^2	0 cd/m^2
Maximale Leuchtdichte	63 cd/m^2	28 cd/m^2
Kontrast Fahrbahn – Spurmarkierung	2.0	2.5
Abstand zwischen Fahrer und Bildfläche	1.98 m	3.30 m

7.2 Computerarchitektur und Datenerfassung

Zur Erzeugung der Fahrszene wurde die Software SPIDER, welche für die Fahrsimulatoren der BMW Group entwickelt wurde (vgl. Strobl, 2003), auf einem Computercluster eingesetzt. Diese Software gab die Bezugspunkte der Messwerte vor. Relevante Messwerte wurden von der Software direkt in eine ASCII Datei geschrieben. Das Datenprotokoll für die Fahrdaten war so gewählt, dass zum einen Fahrdaten zur Berechnung der einzelnen Querregelungsmaße, wie beispielsweise der Lenkradwinkel, enthalten waren. Darüber hinaus beinhaltete das Protokoll Messgrößen, anhand derer eine Versuchsfahrt vollständig rekonstruiert werden konnte. Zu dieser zweiten Kategorie zählten beispielsweise Querbeschleunigungswerte sowie die Raumkoordinaten des Fahrzeugs. Die Samplingrate der Datenerfassung lag bei 25 Hz, womit die Anforderungen an die Aufzeichnungsgenauigkeit gemäß Östlund et al. (2004) als erfüllt angesehen werden können. Alle Fahrten wurden mit einer Kamera digital im m2p–Format aufgezeichnet. Diese Aufzeichnungen dienten dazu, die einzelnen Fahrten genau nachvollziehen zu können.

7.3 Versuchsstrecke und Fremdverkehr

Es wurde ein artifizielles Setting gewählt. Die Probanden fuhren mehrmals dieselbe Strecke. In einem Teil der Fahrten konnten sie sich voll und ganz auf die primäre Fahraufgabe konzentrierten, im anderen Teil bearbeiteten sie im weitesten Sinne unterschiedliche sekundäre Aufgaben. Damit war zwar keine hohe externe Validität gegeben, es konnten aber eindeutige Aussagen im Hinblick auf die untersuchten Einflussfaktoren getroffen werden.

Als Versuchsstrecke diente ein fiktiver Autobahnrundkurs. Dieser Rundkurs wurde gewählt, da er bereits häufig in Untersuchungen Verwendung gefunden hatte und für die Bearbeitung beliebig langer Aufgaben geeignet war. Da die Strecke vor allem aus geraden Abschnitten bestand, keine Haarnadelkurven enthielt und nur moderat gekrümmt war, stellte sie keine übermäßigen Anforderungen an den Fahrer und war damit ideal für die Beurteilung des Einflusses der Bearbeitung von sekundären Aufgaben.

Der Rundkurs verlief in beiden Fahrtrichtungen dreispurig und war 25 Kilometer lang. Die Fahrspuren waren jeweils 3.5 Meter breit. Für die Versuchsfahrten wurde eine Autobahnauffahrt als Startpunkt gewählt. Die einzelnen Versuchfahrten absolvierten die Probanden entgegen dem Uhrzeigersinn auf der rechten Spur.

Am Rand der Fahrbahn befanden sich Straßen- und Hinweisschilder, Leitplanken und Leitpfosten, in losen Abständen einzelne Bäume bis hin zu dichterem Baumbestand. Eine Autobahnbrücke war ebenfalls vorhanden. Die Landschaft war streckenweise leicht hügelig. Der maximale Höhenunterschied über die gesamte Strecke betrug 92.3 Meter. Der Himmel über der Fahrszene war bedeckt gehalten. Auf Wolken wurde bewusst verzichtet, um weitere Störvariablen ausschließen zu können.

Eventuell vorhandener Fremdverkehr war so konfiguriert, dass keine Fahrzeuge auf der rechten Spur fuhren. Der Proband befuhr als einziger Verkehrsteilnehmer die rechte Fahrspur mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h. In Fahrtrichtung des Probanden gab es auf der mittleren und linken Fahrspur Fremdverkehr. Die Geschwindigkeit des

Fremdverkehrs war so gewählt, dass das Fahrzeug des Probanden etwa alle drei bis fünf Sekunden überholt wurde. Die Fahrzeuge auf der mittleren Fahrspur fuhren mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h und die Fahrzeuge auf der linken Spur mit einer Geschwindigkeit von 150 km/h an dem Fahrzeug des Probanden vorbei.

7.4 Querregelung

Einen Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bildete die Untersuchung der Querregelung, welche einen wichtigen Bestandteil der Fahraufgabe darstellt (vgl. Kapitel 3). Zur Bestimmung der Veränderung der Querregelung existieren etliche Lenk- und Spurmaße. Wie anhand von Abschnitt 5.1 und 5.2 deutlich wurde, gibt es bei einigen Maßen keine eindeutigen Vorschriften hinsichtlich der Bezugspunkte. Im Folgenden soll deshalb erläutert werden, welche Bezugspunkte die Grundlage für die Berechnung der Maße im Rahmen der vorliegenden Arbeit bildeten.

Für die Messung der MLP wurde der Abstand des geometrischen Mittelpunkts des Fahrzeugs zur Mitte der rechten Spurmarkierung aufgezeichnet. Auch für die Bestimmung der SDLP wurde dieser Abstand herangezogen. Die Berechnung erfolgte gemäß Abschnitt 5.1.2, d.h. der Mittelwert wurde aus der zweiten Hälfte des SDLP-Verlaufs berechnet.

Eine Spurüberschreitung wurde gemäß der Definition der American Association of Manufacturers (AAM, 2002) gezählt: Diese Definition sieht eine Spurüberschreitung, sobald der äußere Rand des Vorderreifens den äußeren Rand der Spurmarkierung überschreitet. Die Spurüberschreitung endet, sobald der Fahrer wieder vollständig in der vorgegebenen Spur fährt. Wird der äußere Spurmarkierungsrand ein weiteres Mal überschritten, gilt dies als neue Spurüberschreitung. Eine Mindestlänge für die Dauer einer Spurüberschreitung muss nicht gegeben sein.

Die Formel für die Berechnung der ausgegebenen TLC-Werte wurde bereits in Abschnitt 5.1.4 genannt. Der Abstand zu der Fahrbahnbegrenzung d_{offs} [m] war auf Fahrzeugseite der jeweils rechte bzw. linke äußere Reifenrand und auf Fahrbahnseite der jeweils rechte bzw. linke äußere Rand der Spurmarkierung. Die Berechnung der verschiedenen Maßvarianten erfolgte wie unter Abschnitt 5.1.4 beschrieben.

Für die Bestimmung der SDST wurde der Lenkradwinkel mit einer Genauigkeit von +/- 0.17° aufgezeichnet. Die Geradeausstellung des Lenkrades entsprach dabei einem Lenkradwinkel von 0°. Die HFC wurde gemäß Abschnitt 5.2.3 mit einem Frequenzband zwischen 0.35 und 0.6 Grad berechnet. Für die Berechnung des Lenkmaßes ZERO wurde der Bereich von +/- 0.17 Grad um den Nullpunkt des Lenkwinkelsignals, wie in Abschnitt 5.2.4 beschrieben, geglättet und die Anzahl der Nulldurchgänge anhand des Zählalgorithmus' bestimmt.

Da bei dem Lenkmaß SRR die Sensitivität für einzelne Aufgabentypen von der gewählten Winkelabstandsgröße abhängt, wurden diese vor Untersuchungsbeginn gemäß Östlund et al. (2005) festgelegt. Für Autobahnfahrten mit einer sekundären kognitiven Aufgabe hatten Östlund et al. (2005) optimale Winkelabstandsgrößen im Bereich von 0.1° bis 0.5° gefunden. Die optimale Winkelabstandsgröße für sekundäre visuell-manuelle Aufgaben lag bei 2°. Da die Aufzeichnungsgenauigkeit des Lenkrad-

winkels bei den beiden Fahrsimulatorvarianten der BMW Group bei +/- 0.17° lag, wurde für Fahrten mit einer sekundären kognitiven Aufgabe eine Winkelabstandsgröße von 0.4° verwendet. Für eine sekundäre visuell-manuelle Aufgabe wurde die Winkelabstandsgröße von 2° übernommen.

7.4.1 Maße für die Hypothesenüberprüfung

Neben dem Ziel einer effizienten Versuchsdurchführung mit einer überschaubaren Anzahl an Querregelungsmaßen muss auch bei der Auswertung darauf geachtet werden, dass durch das Vorliegen von Multikollinearität multivariate Verfahren nicht negativ beeinflusst werden (vgl. beispielsweise Bortz, 1993). Für die Hypothesenprüfung wurde deshalb aus den vorgestellten Maßen (vgl. Abschnitt 5.1 und 5.2) anhand von Literaturempfehlungen eine Untermenge an Maßen bzw. Berechnungsvarianten bestimmt.

Aus der Menge der vorgestellten Spurmaße wurde für die Hypothesenprüfung das Maß TLC_{mean} ausgewählt. Die TLC_{mean} ist Bestandteil der DIN EN ISO 17287 (2003). Das Maß SDLP wurde für die Hypothesenprüfung bestimmt, da es relativ einfach erfasst bzw. berechnet werden kann (siehe Abschnitt 5.1.2) und schon lange bei Fahruntersuchungen eingesetzt wird. Das Maß ist ebenfalls Bestandteil der DIN EN ISO 17287 (2003).

Aus der Menge der Lenkmaße wurde zum einen die SRR ausgewählt, da sich dieses Maß bereits als sensitiv für die Bearbeitung von sekundären kognitiven sowie visuell-manuellen Aufgaben erwiesen hat (siehe Abschnitt 5.2.2). Zum anderen wurde das Lenkmaß SDST für die Hypothesenprüfung herangezogen, da es ebenfalls Bestandteil der DIN EN ISO 17287 (2003) ist.

7.4.2 Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Neben der Überprüfung der einzelnen Hypothesen war die Beurteilung der Sensitivität aller ausgewählter Maße von Interesse (vgl. Abschnitt 5.1 und 5.2). Zur Bestimmung der Sensitivität wurde für alle betrachteten Maße jeweils Cohen's d berechnet (vgl. Cohen, 1988). Dabei handelt es sich um ein Maß für die Effektstärke von t-Tests, welches auch schon bei Östlund et al. (2005) zur Bestimmung der Sensitivität verwendet wurde. Die Größe eines Effekts lässt sich nach Cohen von klein ($d \geq 0.2$) über mittel ($d \geq 0.4$) bis zu groß ($d \geq 0.8$) und sehr groß ($d \geq 1.0$) einteilen (vgl. Cohen, 1988).

Bei allen vier Experimenten wurden die Effektstärken für die untersuchten Bedingungen berechnet und verglichen. Die Grundlage der qualitativen Effektstärkenbetrachtung bildeten die Effektstufen ‚klein', ‚mittel' und ‚groß', welche einem fehlenden Effekt gegenübergestellt wurden. Eine Unterscheidung zwischen ‚groß' und ‚sehr groß' wurde im Hinblick auf die nachfolgend geschilderten Fragen nicht als relevant eingestuft:

Sensitivität: Wie sensitiv ist ein Maß für eine Bedingung? Weisen alle betrachteten Maße eine vergleichbare Sensitivität für die jeweilige Bedingung auf? Gibt es Maße, welche für die unterschiedlichsten Bedingungen durchgängig sensitiv sind?

Relative Vergleichbarkeit: Liefern die jeweiligen Bedingungen bei beiden Fahrsimulatorvarianten vergleichbare Effektstärken?

Absolute Vergleichbarkeit: Liefert der Vergleich der beiden Varianten für die jeweilige Bedingung einen Effekt?

Da es sich um eine rein qualitative Betrachtung handelte, wurde es nur dann als bedeutsam angesehen, wenn die Effektrichtung sich umkehrte oder die Effektstärken bei gleicher Richtung des Effekts um mehr als eine Stufe auseinander lagen. Benachbarte Stufen wurden für diese Betrachtung als gleichwertig interpretiert, da absolut betrachtet sehr nah beieinander liegende Effektstärken (beispielsweise d=0.39 und d=0.41) aufgrund der Kategorisierung in unterschiedliche Effektstufen eingeteilt werden. In dem genannten Beispiel fällt der eine Effekt noch in die Kategorie ‚klein' und der andere Effekt bereits in die Kategorie ‚mittel'.

8 Experiment 1: „Der Einfluss des peripheren Sehens und der Fahrsimulatorvariante auf die Querregelung“

8.1 Ziel der Untersuchung

In Abschnitt 3.1.3 wurde die Rolle des peripheren Sehens für das Autofahren herausgearbeitet. Groeger (2001) äußerte jedoch Zweifel, dass Fahrszenen mit rudimentärer Darstellung zu denselben Ergebnissen führen wie Fahrten in visuell komplexen Szenen. Aus diesem Grund sollte im Rahmen von Experiment 1 eine Untersuchung von Owens und Tyrrell (1999) repliziert werden. In dieser Untersuchung mit Grundlagencharakter sollten die beiden in Kapitel 7 beschriebenen statischen Fahrsimulatorvarianten bezüglich der resultierenden Querregelung miteinander verglichen werden. Anders als bei Owens und Tyrrell (1999) wurde aber statt der extremen Sichtfeldeinschränkung auf 1.78 Grad für die vorliegende Untersuchung ein Sichtfeld von 5 Grad gewählt, was außer dem zentralen Bereich auch noch einen Teil des perifovealen Bereichs umfasst (vgl. Abschnitt 2.1). Die Sichtfeldeinschränkung unterband, je nach Fixation, weitgehend die periphere Informationsverarbeitung im Nah- oder Fernbereich. Anhand von Kopfbewegungen konnten aber alle Bestandteile der Fahrszene foveal fixiert werden. Dieses Vorgehen sollte Erkenntnisse darüber liefern, inwiefern eine parallele periphere Informationsverarbeitung durch foveale Fixationen kompensiert werden kann und ob die unterschiedlichen Charakteristika der bildgebenden Systeme der beiden betrachteten Fahrsimulatorvarianten (vgl. Abschnitt 7.1.1 und 7.1.2) einen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis hinsichtlich der Querregelung haben.

Im Rahmen von Experiment 1 wurden folglich zwei Einflussgrößen variiert:

Peripheres Sehen: Hier wurden die beiden Bedingungen Fahren mit eingeschränkter Sicht („**5 Grad**“) und Fahren mit uneingeschränkter Sicht („**Standard**“) untersucht.

Fahrsimulatorvariante: Es kamen die Fahrsimulatorvariante mit der Projektionsleinwand („**Projektion**“) und die Variante mit den Plasmabildschirmen („**Plasma**“) zum Einsatz.

Die Bestimmung von Größe und Richtung der beiden Einflussfaktoren erfolgte anhand von objektiven und subjektiven Daten. Die subjektiven Daten wurden mit Hilfe von Fragebögen erhoben. Die objektiven Daten stellten alle betrachteten Querregelungsmaße (vgl. Kapitel 5) dar. Folgende Hypothesen wurden überprüft:

Hypothese 1: Die Querregelung sollte bei eingeschränkter Sicht generell instabiler werden. Ein sequentielles Fixieren aller Straßenabschnitte war zwar weiterhin möglich. Der Wegfall des peripheren Sehens, welches für die Feinkontrolle der Fahrzeugposition nötig ist (vgl. Land & Horwood, 1995), sollte aber nicht vollständig kompensiert werden können.

Hypothese 2: Die Querregelung sollte bei uneingeschränkter Sicht bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ stabiler ausfallen. Bei dieser Variante ist ein stärkerer Bezug zwischen Fahrszene und Motorhaube gegeben (vgl. Kapitel 7). Es wurde vermutet, dass dieser visuelle Bezug (vgl. Wilkie & Wann, 2002) zusammen mit dem etwas

größeren horizontalen Sichtfeld für die Querregelung entscheidender ist als die vertikalen Balken und die höhere Auflösung der Fahrsimulatorvariante „Plasma“.

Hypothese 3: Bei eingeschränkter Sicht sollte die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ überlegen sein. Unter dieser Sichtbedingung kommen die Vorteile der Fahrsimulatorvariante „Projektion“, wie der Bezug zwischen Fahrszene und Motorhaube und das etwas größere horizontale Sichtfeld, nicht mehr zum Tragen. Zudem sollte sich bei eingeschränkter Sicht die höhere Auflösung der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ vorteilhaft auf die Querregelung auswirken.

Hypothese 4: Das Fahren bei eingeschränkter Sicht sollte subjektiv als schwieriger eingestuft werden. Die fehlenden peripheren Informationen machen zusätzliche Fixationen nötig, welche sich bei der Beurteilung niederschlagen sollten.

8.2 Methode

8.2.1 Versuchspersonen

Für alle Experimente wurden Probanden gewählt, die keinerlei Vorerfahrungen mit Fahrten in Fahrsimulatoren hatten. Da alle Probanden vor dem jeweiligen Experiment dieselbe Trainingsphase durchliefen, sollten mit Hilfe dieses Vorgehens übungsbedingte Unterschiede in der Querregelung in einem Fahrsimulator ausgeschlossen werden. Darüber hinaus wurden jüngere Probanden gewählt, da bei dieser Stichprobe eine homogenere Fahrleistung erwartet wurde. Zwischen älteren Autofahrern sind größere Unterschiede hinsichtlich Sehkraft und körperlicher Verfassung möglich, was sich auch auf die Querregelung auswirken könnte.

An Experiment 1 nahmen insgesamt 25 Probanden teil. Ein Proband konnte aufgrund von Simulatorübelkeit den Versuch nicht beenden. Drei weitere Probanden mussten aufgrund von Fehlern in der Datenaufzeichnung von der Auswertung ausgeschlossen werden.

Die 21 auswertungsrelevanten Probanden waren zwischen 20 und 36 Jahren alt. Der Altersdurchschnitt lag bei 28.9 Jahren (SD=3.9). Die Gruppe der Probanden umfasste 17 Männer und vier Frauen. Ingenieure stellten mit 13 Vertretern den größten Anteil. Die übrigen sechs Probanden kamen aus den Bereichen Informatik, Volkswirtschaft und Computerlinguistik.

Der durchschnittliche Führerscheinbesitz lag bei 10.6 Jahren (SD=4.2). Die Fahrleistung der Probanden pro Jahr in Kilometern kann Tabelle 8.1 entnommen werden. Mit jeweils zwei Probanden in den Randbereichen wies die Stichprobe keine extreme Verteilung auf.

Tabelle 8.1 Fahrleistung der Probanden

	Km pro Jahr			
	< 5000	**5000 – 10000**	**10000 – 20000**	**> 20000**
Anzahl Probanden	2	5	12	2

Von den 21 Probanden gaben acht an, einen PC, das Touchpad am Notebook, ein Mobiltelefon und ein Navigationssystem im PKW privat oder beruflich zu nutzen. Die übrigen 13 Probanden nutzten immerhin drei der aufgelisteten Geräte. Die Stichprobe wurde damit als eher technikoffen gesehen.

Neun der Probanden spielten Computerspiele, davon einer auch fast immer mittels eines Spielelenkrades. Keiner der Probanden war bislang in einem Fahrsimulator gefahren. Lediglich zwei der Probanden hatten geringe Erfahrungen mit Flugsimulatoren.

Von den 21 Probanden waren 15 nach eigenen Angaben normalsichtig. Die verbleibenden sechs Probanden trugen zum Ausgleich ihrer Sehschwäche Kontaktlinsen. Alle Sehbeeinträchtigungen wurden nach eigenen Angaben durch das Tragen von Kontaktlinsen vollständig ausgeglichen. Reine Brillenträger konnten aufgrund des Versuchsaufbaus nicht teilnehmen.

Alle Teilnehmer waren zu den beiden Datenerhebungszeitpunkten bei der BMW Group angestellt. Die Versuchsteilnahme erfolgte freiwillig während der üblichen Arbeitszeit.

8.2.2 Versuchsplan

Es gab vier Bedingungen, aufgeteilt auf zwei Sitzungen. Während einer Sitzung fuhren die Probanden jeweils zweimal 15 Minuten in einer der beiden Fahrsimulatorvarianten. Eine Fahrt fand unter der jeweiligen Standardsichtbedingung („Standard“) statt. Bei der anderen Fahrt fuhr der Proband mit eingeschränkter Sicht („5 Grad“). Diese wurde dadurch realisiert, dass dem Probanden nur ein Sichtausschnitt von 5 Grad zur Verfügung stand. Die zweite Sitzung verlief analog. Die Fahrten fanden jedoch in der jeweils anderen Fahrsimulatorvariante statt.

Der Faktor VARIANTE bestand somit aus den beiden unterschiedlichen Ausprägungen der statischen Fahrsimulatorvarianten und lag in zwei Stufen vor („Plasma“ vs. „Projektion“). Der Faktor SICHT umfasste den Grad der Sichteinschränkung. Dieser Faktor war ebenfalls zweifach gestuft und lag in den Ausprägungen „Standard“ vs. „5 Grad“ vor. Es wurde ein Design mit Messwiederholung gewählt, um versuchspersonenbedingte Einflüsse auf die Ergebnisse ausschließen zu können. Die Aufteilung auf zwei Sitzungen erfolgte zur Vermeidung von Ermüdungseffekten. Zur Vermeidung von Sequenzeffekten begann die eine Hälfte der Probanden mit der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ und die andere Hälfte mit der Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Der 2 (VARIANTE) x 2 (SICHT) faktorielle Versuchsplan mit vollständiger Messwiederholung ist in Tabelle 8.2 dargestellt.

Tabelle 8.2 Versuchsplan Experiment 1

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„Standard“	21 Pbn	
	„5 Grad“		

Die Reihenfolge der beiden Einzelfahrten innerhalb einer Sitzung wurde über alle Probanden hinweg vollständig ausbalanciert. Die Zuweisung der Probanden zu den jeweiligen Bearbeitungsreihenfolgen erfolgte zufällig. Da jeweils zwei Bedingungen im Rahmen einer Sitzung gekoppelt waren, resultierten acht mögliche Bearbeitungsabfolgen. Diese können Tabelle 8.3 entnommen werden.

Tabelle 8.3 Bearbeitungsabfolgen

Abfolge 1	Abfolge 2	Abfolge 3	Abfolge 4	Abfolge 5	Abfolge 6	Abfolge 7	Abfolge 8
„Plasma“ „Standard“	„Plasma“ „Standard“	„Plasma“ „5 Grad“	„Plasma“„5 Grad“	„Projektion“„ Standard“	„Projektion“„ 5 Grad“	„Projektion“„ Standard“	„Projektion“„ 5 Grad“
„Plasma“ „5 Grad“	„Plasma“ „5 Grad“	„Plasma“ „Standard“	„Plasma“ „Standard“	„Projektion“„ 5 Grad“	„Projektion“„ Standard“	„Projektion“„ 5 Grad“	„Projektion“„ Standard“
„Projektion“ „Standard“	„Projektion„5 Grad“	„Projektion“ „Standard“	„Projektion„5 Grad“	„Plasma“ „Standard“	„Plasma“ „Standard“	„Plasma“ „5 Grad“	„Plasma“ „5 Grad“
„Projektion“„ 5 Grad“	„Projektion“ „Standard“	„Projektion„5 Grad“	„Projektion“„ Standard“	„Plasma“„5 Grad“	„Plasma“„5 Grad“	„Plasma“ „Standard“	„Plasma“„St andard“

Legende: nicht hinterlegte Bedingungen: erste Sitzung;
grau hinterlegte Bedingungen: zweite Sitzung

Jeweils drei Probanden durchliefen eine Abfolge. Bei einer der Abfolgen waren es, aufgrund der ungeraden Anzahl, vier Probanden. Die Probandenanzahl wurde so festgelegt, dass bei einem α-Fehler von 5% und einem β-Fehler von 20% mittlere Effekte signifikant wurden (vgl. Bortz, 1993). Die vier Probanden, die nicht für die Auswertung herangezogen werden konnten, verteilten sich auf unterschiedliche Abfolgen.

Die objektiven abhängigen Variablen bildeten die vier Querregelungsmaße, die für die Hypothesenprüfung ausgewählt worden waren (vgl. Kapitel 7): „Standardabweichung der lateralen Position“ (SDLP), eine Berechnungsvariante der „Time to Line Crossing“ (TLC_{mean}), „Standardabweichung des Lenkwinkels“ (SDST), „Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute Gap 2 (SRR_2) bzw. Gap 0.4 ($SRR_{0.4}$). Die Einschätzung, wie schwierig das Fahren in dem jeweiligen Fahrsimulator war, bildete die subjektive abhängige Variable (vgl. Fragebogen A2a bzw. A2b).

Für die Beurteilung der Sensitivität, der absoluten und der relativen Vergleichbarkeit der Querregelungsmaße wurden alle übrigen Maße aus Kapitel 5 berechnet. Auf der Seite der Lenkmaße handelte es sich um die „Anzahl der Nulldurchgänge“ pro Kilometer (ZERO) und den „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ (HFC). Die Spurmaße setzten sich aus der „Mittleren lateralen Position“ (MLP), der „Anzahl der Spurüberschreitungen“ pro Kilometer (LANEX) sowie zwei weiterer Berechnungsvarianten der „Time to Line Crossing“ (TLC_{thresh} und TLC_{pct}) zusammen.

8.2.3 Material und Geräte

Die beiden statischen Fahrsimulatorvarianten der BMW Group wurden bereits in Kapitel 7 beschrieben. In Experiment 1 befanden sie sich an unterschiedlichen Orten, weshalb zwei Sitzkisten eingesetzt werden mussten. Diese beiden Sitzkisten glichen sich hinsichtlich Geometrie und Innenleben. Während des Versuchs stellte sich heraus, dass nicht intendierte Unterschiede in dem Lenkwiderstand aufgetreten waren. Der Lenkwiderstand fiel bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ aufgrund technischer Probleme niedriger aus als bei der Variante „Projektion“. Der Fahrer erhielt bei der Variante „Projektion“ somit eine stärkere Rückmeldung auf seine Lenkbewegung als bei der Variante „Plasma“.

Die Probanden befuhren, sowohl während der Eingewöhnungsfahrt als auch während der Versuchsfahrten, den in Kapitel 7 beschriebenen fiktiven Autobahnrundkurs. Die Startpunkte für die Eingewöhnungsfahrt und die Versuchsfahrten sowie die zu fahrende Versuchsstrecke zeigt Abbildung 8.1.

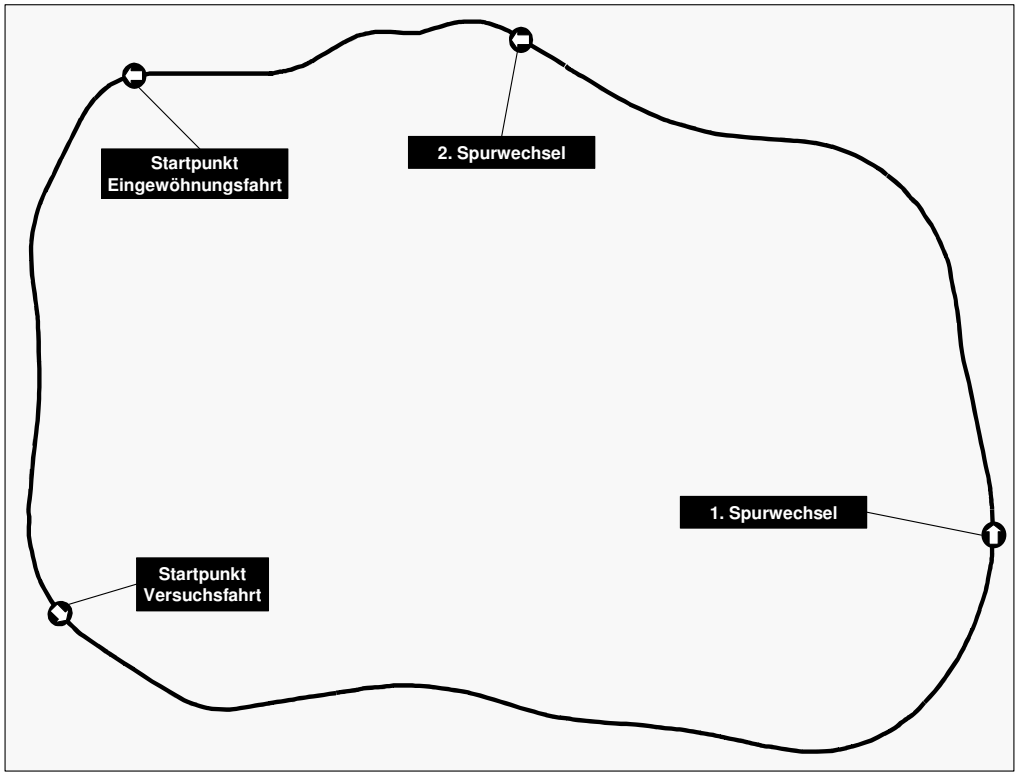

Abbildung 8.1 Schematische Darstellung der Strecke von Experiment 1

Zur Vorbeugung von Ermüdungseffekten und Motivationseinbußen während der einzelnen Versuchsfahrten wurde eine relativ hohe Sollgeschwindigkeit von 140 km/h vorgegeben. Zusätzlich wurden zwei Spurwechsel in den Versuch aufgenommen. An dem Punkt „1. Spurwechsel“ (vgl. Abbildung 8.1) wurde der Proband von der Versuchsleiterin (VL) angewiesen, einen Spurwechsel von der rechten auf die linke Fahrspur durchzuführen. An dem Punkt „2. Spurwechsel“ (vgl. Abbildung 8.1) sollte der Proband von der linken auf die mittlere Fahrspur wechseln. Der Proband war bei diesem Experiment der einzige Verkehrsteilnehmer, da die visuellen Informationen unter beiden Sichtbedingungen vergleichbar sein sollten. Fahrzeuge auf den benachbarten Spuren

wären unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zur Sichtbedingung „Standard“ insgesamt später wahrgenommen worden.

Für die Einschränkung des Sichtfeldes wurde eine handelsübliche Refraktionsbrille verwendet. Bei einer Refraktionsbrille handelt es sich um ein variabel einstellbares Brillengestell, in welches Brillengläser mit unterschiedlichen Stärken eingesetzt werden können. Solche Refraktionsbrillen werden normalerweise zur Bestimmung von Sehschwächen eingesetzt. Für das Experiment wurden sehr dunkle Sonnenbrillengläser verwendet, die innen zusätzlich schwarz angestrichen waren. Durch eine Bohrung im Zentrum der Brillengläser wurde ein Sehwinkel von 5 Grad erreicht (siehe Abbildung 8.2). Dieser Sehwinkel ermöglichte bei der Fixation des Fluchtpunktes das Einsehen der gesamten Straßenbreite und gewährleistete bei beiden Fahrsimulatorvarianten eine gute Wahrnehmbarkeit der Fahrszene.

Für den Versuch wurden zwei „Scheuklappen“ aus stabiler Pappe hergestellt (vgl. rechter Teil von Abbildung 8.2). Der dem Probanden zugewandte Teil der „Scheuklappen“ war schwarz angestrichen. Die „Scheuklappen“ konnten auf das Gestell der Refraktionsbrille aufgesteckt werden und verhinderten so ein seitliches Eindringen von Licht. Ein seitliches Vorbeisehen an der Brille und somit eine Vergrößerung des Sichtfeldes konnte auf diese Weise ausgeschlossen werden.

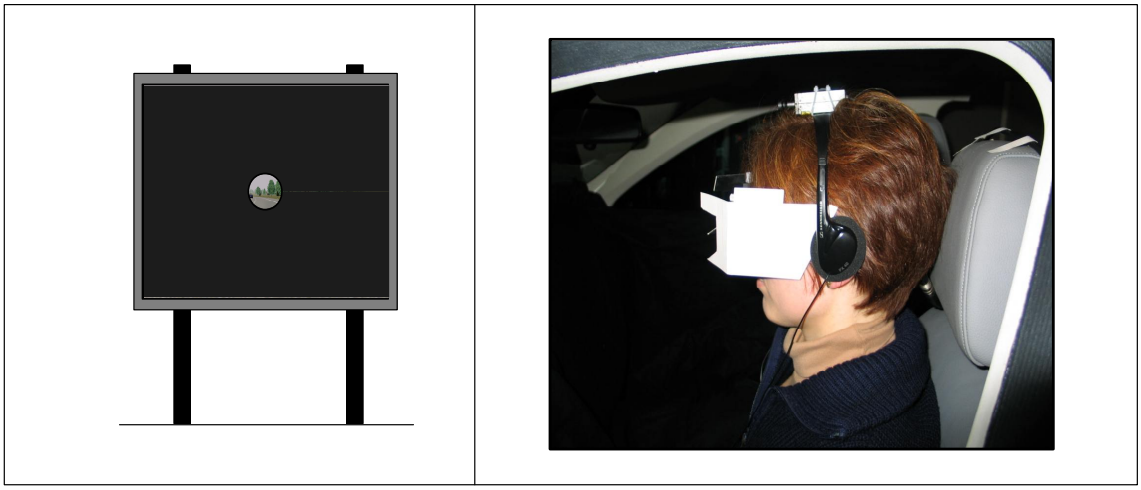

Abbildung 8.2 Resultierender Sichtausschnitt und Refraktionsbrille mit „Scheuklappen“

Der resultierende Sichtausschnitt ist im linken Teil von Abbildung 8.2 dargestellt. Die eigentlich nicht sichtbare Fahrszene wurde zur Verdeutlichung der Sichteinschränkung halb transparent dargestellt.

Zur Erfassung der demografischen Daten sowie der subjektiven Beurteilung der einzelnen Fahrten wurden zwei Fragebögen eingesetzt. Diese fanden bereits bei der BMW Group Verwendung und wurden für die aktuelle Untersuchung entsprechend angepasst. Der Fragebogen A1 erfasste die demografischen Daten, der Fragebogen A2 die subjektive Beurteilung der einzelnen Fahrten. Dieser Fragebogen lag in zwei Ausprägungen (A2a und A2b) vor, um die Besonderheiten der beiden Sichtbedingungen gezielt erfassen zu können. Anhand entsprechender Fragen von Fragebogen A2a bzw. A2b wurde das Auftreten von Übelkeit durch das Fahren im Fahrsimulator, sowie

ergänzende Anmerkungen zu dem Versuch und den Fahrsimulatorvarianten erfasst. Die Fragebögen befinden sich in Anhang A.1.

8.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion

Der Versuch fand im Zeitraum vom 08.11.04 – 29.11.04 im Forschungs- und Innovationszentrum (FIZ) in München statt und wurde vollständig von der Autorin durchgeführt. Die beiden Fahrsimulatorvarianten befanden sich in unterschiedlichen Räumen, die hinsichtlich ihrer Umgebungsbedingungen vergleichbar waren. Bei beiden Varianten befand sich die Bedienkonsole der VL in demselben Raum wie der Fahrsimulator. Sichtkontakt zwischen dem Probanden und der VL war nicht gegeben. Die räumliche Entfernung zu dem Probanden war jeweils so groß, dass dieser während der Versuchsfahrten nicht durch die Anwesenheit der VL gestört wurde. Der Proband konnte zu festgelegten Zeitpunkten über das Mikrofon instruiert werden. Das Verhalten des Probanden wurde mittels Kamera und Monitor bei beiden Fahrsimulatorvarianten störungsfrei überwacht. Beide Räume konnten weitestgehend abgedunkelt werden, so dass die Fahrszene jeweils gut erkennbar war.

Der erste der beiden Versuchsdurchgänge begann nach der Begrüßung mit dem Ausfüllen des demografischen Fragebogens A1. Anschließend wurde der Proband in die Fahrsimulatorvariante eingewiesen. Der Fahrersitz wurde so eingestellt, dass der Augpunkt bei allen Probanden 1.2 Meter über dem Boden lag. Im Rahmen einer fünfminütigen Eingewöhnungsfahrt lernte der Proband die jeweilige Fahrsimulatorvariante kennen. Während dieser Fahrt wurde der Proband instruiert, drei Spurwechsel durchzuführen und die Geschwindigkeit zu variieren. Im Anschluss an diese Eingewöhnungsfahrt gaben alle Probanden an, sich für die Versuchsfahrten gut vorbereitet zu fühlen.

Bestand die erste Versuchsfahrt aus einer Fahrt mit eingeschränktem Sichtfeld („5 Grad“), wurde zunächst die Refraktionsbrille angepasst. Dazu nahm die VL eine Voranpassung der Refraktionsbrille an dem Probanden vor. Über einen Drehknopf konnte der Proband eigenständig eine Feinabstimmung der Position der Gläser vornehmen. Die Einstellung war abgeschlossen, sobald der Proband die Fahrszene mittig in einem runden, scharfen Bild sehen konnte (vgl. Abbildung 8.2).

Nun wurde der Proband für die erste Versuchsfahrt folgendermaßen mündlich über Mikrofon instruiert: *„Ich bin daran interessiert, herauszufinden, wie Fahrsimulator-Neulinge mit dem Fahren in einem Fahrsimulator zurechtkommen. Aus diesem Grund möchte ich Sie bitten, möglichst konzentriert mit einer Geschwindigkeit von 140 km/h in der von mir vorgegebenen Spur zu fahren und die Spurwechsel durchzuführen, sobald ich Sie dazu auffordere. Auch wenn keine Gefahr im Hinblick auf Unfälle besteht, möchte ich Sie bitten, so sorgfältig und konzentriert zu fahren, wie Sie es bei einer realen Autofahrt auch tun würden. Außerdem möchte ich Sie dazu auffordern, mir rechtzeitig Bescheid zu geben, falls Sie sich nicht mehr gut fühlen sollten.“*

Insgesamt wechselte der Proband während seiner 15minütigen Versuchsfahrt zweimal die Spur. Der erste Spurwechsel erfolgte nach ca. fünf Minuten von der mittleren auf die linke Fahrspur. Der zweite Spurwechsel erfolgte nach ca. zehn Minuten von der linken auf die ganz rechte Fahrspur (vgl. Abbildung 8.1). Sobald die Geschwindigkeit um mehr als +/-15 km/h von der Vorgabe abwich, wurde der Proband über Mikrofon darauf

hingewiesen, sich an die vorgegebene Geschwindigkeit zu halten. Im Anschluss an die Versuchsfahrt beurteilte der Proband die Fahrt in der Fahrsimulatorvariante anhand des Fragebogens A2a bzw. A2b.

Die zweite Versuchsfahrt verlief identisch, lediglich die Sichtbedingung änderte sich. Den Abschluss der ersten Sitzung bildete das Ausfüllen des Fragebogens A2b bzw. A2a und endete mit der Verabschiedung des Probanden.

Die zweite Sitzung verlief genauso wie die erste, nur die Fahrsimulatorvariante war eine andere. Da der Proband nun bereits in einem statischen Fahrsimulator gefahren war, konnte die Eingewöhnungsfahrt in der jeweils anderen Variante auf drei Minuten verkürzt werden. Der mittlere Abstand zwischen den beiden Versuchsterminen betrug 9.0 Tage (SD=3.8).

8.3 Ergebnisse

8.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten

Vor der Aufbereitung der Fahrdaten wurde überprüft, ob im Rahmen des Fragebogens A2a bzw. A2b Angaben zur Übelkeit während der Versuchsfahrten gemacht worden waren. Jeder Proband, der diese Frage bejaht hatte, sollte von der Auswertung ausgeschlossen werden, da angenommen wurde, dass sich ein Fahren mit Übelkeit von einem Fahren ohne Übelkeit grundlegend unterscheidet. Dies war bei einem der Probanden der Fall.

Anhand der Frage zu den bisherigen Fahrten in Fahrsimulatoren im Rahmen des Fragebogens A1 konnte sichergestellt werden, dass alle Probanden mit denselben Vorkenntnissen zu dem Experiment erschienen waren und übungsbedingte Unterschiede als Störvariable ausgeschlossen werden konnten. Keiner der Probanden war vor dem Versuch bereits in einem Fahrsimulator gefahren. Die Analyse der Datenfiles ergab für drei Probanden so viele Datenausfälle, dass diese nicht weiterführend betrachtet werden konnten. Im Folgenden werden für die Daten der verbleibenden 21 Probanden die vorbereitenden Schritte erläutert.

In einem ersten Schritt wurden die vier Datendateien pro Proband in MS Access importiert. Mit Hilfe dieses Programms konnte eine Streckenkürzung als Grundlage für die weiterführenden Auswertungsschritte vorgenommen werden. Im Rahmen der Streckenkürzung wurden zum einen die Spurwechselabschnitte entfernt, da diese nur zur Vorbeugung eventueller Monotonie- bzw. Ermüdungseffekte in dem Experiment enthalten waren. Zum anderen waren der Beschleunigungs- und Abbremsvorgang zu Anfang und Ende der Versuchsfahrt nicht auswertungsrelevant und wurden deshalb aus den Daten entfernt. Die verbleibenden Streckenabschnitte wurden über alle Probanden hinweg so gekürzt, dass die gefahrenen Strecken gleich lang waren. Auf diese Weise war sichergestellt, dass die Ergebnisse von krümmungssensitiven Maßen, wie beispielsweise der „Standardabweichung des Lenkwinkels“ (SDST), nicht verfälscht wurden. Das Ergebnis dieser Streckenkürzung war pro Proband und Bedingung ein Datensatz bestehend aus drei Streckenabschnitten. Diese Streckenabschnitte wurden für die Berechnung der einzelnen Maße wie eine durchgehende Strecke behandelt.

Da für eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit die Befolgung der Geschwindigkeitsvorgabe entscheidend war, wurde überprüft, zu welchem Anteil jeder Proband die Geschwindigkeitsvorgabe von 140 km/h um 15 km/h unter- oder überschritten hatte. Die Analyse ergab, dass alle 21 Probanden unter allen Bedingungen zu weniger als 10% den Toleranzbereich verlassen hatten. Es wurde deshalb keine Notwendigkeit gesehen, weitere Probanden aufgrund dieses Kriteriums von der Auswertung auszuschließen.

Im Folgenden wurden alle in Kapitel 5 beschriebenen Querregelungsmaße bzw. Berechnungsvarianten für alle 21 Probanden berechnet. Für die Berechnung der Maße SRR_2, $SRR_{0.4}$, HFC und TLC wurde das Programm Matlab (Version 6.5.1) eingesetzt. Dazu wurden die Lenkradwinkeldaten und die TLC-Daten der Fahrsimulatorvarianten aus Access exportiert. Nach dem Durchlauf der für das Experiment erstellten Matlab–Routinen wurden die Ergebnisse in eine Excel-Datei geschrieben. Die übrigen Maße wurden direkt in der Datenbank berechnet und als txt–Ergebnisdateien exportiert.

Die Werte aus der Excel–Datei sowie die txt–Ergebnisdateien wurden in SPSS (11.5) eingelesen und bildeten die Auswertungstabelle. Die Maße SRR_2, $SRR_{0.4}$, TLC_{mean}, SDLP und SDST bildeten die Grundlage für die statistischen Berechnungen im Rahmen der Hypothesenprüfung. Für die Bestimmung der Sensitivität, der absoluten und der relativen Vergleichbarkeit aller Maße der Auswertungstabelle wurde Cohen's d berechnet (vgl. Cohen, 1988).

Als weiteres Ausschlusskriterium wurde festgelegt, dass Probanden, welche über alle Bedingungen und Maße hinweg mehr als 20% Ausreißer- oder Extremwerte aufwiesen, von der Auswertung ausgeschlossen werden sollten. Dies wurde als Hinweis darauf gesehen, dass die Probanden nicht mit den Fahrsimulatorvarianten zurecht gekommen waren. Als Ausreißer wurden Werte verstanden, welche über dem 1.5fachen des Interquartilabstandes lagen. Extremwerte stellten diejenigen Werte dar, welche sich über dem 3fachen des Interquartilabstandes befanden. Der prozentuale Grenzwert wurde mit 20% insgesamt höher gewählt, da Ausreißerwerte bei einem Maß nicht automatisch mit Ausreißerwerten bei einem anderen Maß einhergehen müssen und bislang noch nicht genügend Erkenntnisse darüber vorliegen, welchem Maß in welchem Fall der Vorzug zu geben ist. Zudem sollten Probanden nicht aufgrund einer bestimmten Fahrstrategie von vornherein von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die Überprüfung ergab, dass keiner der Probanden das Kriterium erreichte. Der höchste Anteil lag bei 15.9%. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich somit auf 21 Probanden.

8.3.2 Hypothesenüberprüfung

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wurde, getrennt für alle vier Maße, eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit vollständiger Messwiederholung gerechnet. Da sich die einzelnen Maße in ihrer Aussage unterscheiden und das Verhalten dieser Maße für verschiedene Bedingungen nicht vollständig geklärt ist (vgl. Kapitel 5), wird auch die Hypothesenprüfung getrennt nach Maßen durchgeführt. Als Voraussetzung für die Anwendung einer zweifaktoriellen Varianzanalyse werden in der Literatur Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität genannt (vgl. beispielsweise Bortz, 1993). Laut Bortz (1993, S.303) spielen Verletzungen der ersten beiden Voraussetzungen keine Rolle, wenn die Stichprobenumfänge hinreichend groß und gleich sind. Bei der

vorliegenden Untersuchung waren gleich große Zellumfänge gegeben. Eine Anzahl von 21 Probanden in einem vollständigen Messwiederholungsdesign wurde als hinreichend großer Stichprobenumfang eingestuft. Die bei Messwiederholung geforderte Sphärizität spielt bei zweifach gestuften Faktoren keine Rolle (Hussy & Jain 2002, S. 198). Es wurde deshalb davon ausgegangen, dass das Rechnen einer Varianzanalyse nicht zu progressiven Entscheidungen aufgrund von Voraussetzungsverletzungen führt. Für die Einzelvergleiche zur gezielten Hypothesenprüfung wurde das strenge Kriterium angewendet, welches besagt, dass eine Hypothese erst dann als bestätigt angesehen werden kann, wenn alle Einzelvergleiche im Sinne der Hypothese signifikant werden. Bei Anwendung des strengen Kriteriums muss keine Anpassung des α-Fehlers vorgenommen werden (vgl. Hager, 1987), in Hussy & Jain (2002).

Für einen ersten Überblick werden jeweils Mittelwerte und Standardfehler für jedes Maß getrennt nach Bedingung dargestellt. In dieser Darstellung sind die Daten aller 21 Probanden, inklusive ihrer Ausreißerwerte, enthalten (vgl. Abschnitt 8.3.1). Die Ergebnisse wurden bereits teilweise veröffentlicht (vgl. Knappe, Keinath, Bengler & Meinecke, 2007 sowie Knappe, Keinath & Meinecke, 2008).

8.3.2.1 SDLP („Standardabweichung der lateralen Position“)

In Tabelle 8.4 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Spurmaß SDLP dargestellt.

Tabelle 8.4 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
SICHT	„5 Grad“	0.55 (0.03)	0.55 (0.03)	0.55 (0.03)
	„Standard“	0.39 (0.02)	0.33 (0.02)	0.36 (0.02)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.47 (0.02)	0.44 (0.02)	

Wie Tabelle 8.4 entnommen werden kann, fiel die mittlere SDLP unter der Sichtbedingung „5 Grad“ höher aus als unter der Sichtbedingung „Standard“. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ war die mittlere SDLP etwas höher als für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Die Standardfehler bewegten sich in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für das Maß SDLP ergab für den Faktor VARIANTE keinen signifikanten Haupteffekt (siehe Anhang A.1). Der Haupteffekt für den Faktor SICHT fiel hochsignifikant aus, $F(1)=98.753$, $p \leq .01$. Die ordinale Interaktion VARIANTE x SICHT war signifikant [$F(1)=4.661$, $p \leq .05$].

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden im Anschluss einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ fiel die SDLP unter der Sichtbedingung „5 Grad“ hochsignifikant höher, also instabiler, aus als unter der Sichtbedingung „Standard“, $t(20)=8.976$, $p<.001$. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zeigte sich ebenfalls ein hochsignifikanter Anstieg der SDLP unter der Sicht-

bedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Sichtbedingung „Standard“, t(20)=8.004, p<.001. Der Vergleich der beiden Fahrsimulatorvarianten unter der Sichtbedingung „Standard“ ergab eine hochsignifikant höhere SDLP, also eine instabilere Querregelung, für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“, t(20)=4.177, p<.001. Der Vergleich der beiden Varianten unter der Sichtbedingung „5 Grad“ lieferte keinen signifikanten Unterschied (t(20)=-0.038, n.s.).

8.3.2.2 TLC_{mean} („Time to Line Crossing“)

Tabelle 8.5 enthält Mittelwerte und Standardfehler für das Spurmaß TLC_{mean}.

Tabelle 8.5 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
SICHT	„5 Grad“	1.75 (0.15)	1.37 (0.12)	1.56 (0.12)
	„Standard“	2.43 (0.16)	2.56 (0.13)	2.5 (0.14)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	2.09 (0.15)	1.97 (0.11)	

Wie Tabelle 8.5 entnommen werden kann, lag die mittlere TLC_{mean} bei der Sichtbedingung „5 Grad“ unter derjenigen der Sichtbedingung „Standard“. Die mittlere TLC_{mean} der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ befand sich über derjenigen der Variante „Projektion“. Die Standardfehler lagen in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für das Maß TLC_{mean} ergab für den Faktor VARIANTE keinen signifikanten Haupteffekt (siehe Anhang A.1). Der Haupteffekt für den Faktor SICHT [F(1)=139.988, p≤.01] und die hybride Interaktion VARIANTE x SICHT [F(1)=11.033, p≤.01] fielen hochsignifikant aus.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden im Anschluss einseitige t-Tests gerechnet. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ fiel die TLC_{mean} unter der Sichtbedingung „5 Grad“ verglichen mit der Sichtbedingung „Standard“ hochsignifikant niedriger aus, t(20)=-6.805, p<.001. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ verringerte sich die TLC_{mean} hochsignifikant (t(20)=-10.050, p<.001), war also unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Sichtbedingung „Standard“ instabiler. Unter der Sichtbedingung „5 Grad“ zeigte sich die TLC_{mean} für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ im Vergleich zu der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ als hochsignifikant niedriger, t(20)=2.991, p<.01. Unter der Sichtbedingung „Standard“ unterschieden sich die beiden Varianten nicht signifikant (t(20)=-1.177, n.s.).

8.3.2.3 SDST („Standardabweichung des Lenkwinkels“)

In Tabelle 8.6 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SDST aufgeschlüsselt.

Tabelle 8.6 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
SICHT	„5 Grad“	7.53 (0.30)	7.68 (0.14)	7.60 (0.18)
	„Standard“	7.10 (0.08)	6.97 (0.06)	7.03 (0.06)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	7.31 (0.17)	7.32 (0.08)	

Wie Tabelle 8.6 entnommen werden kann, fiel die mittlere SDST unter der Sichtbedingung „5 Grad“ höher aus als unter der Sichtbedingung „Standard“. Die mittlere SDST war bei beiden Fahrsimulatorvarianten unter derselben Sichtbedingung nahezu identisch. Die Standardfehler lagen unter den Bedingungen „5 Grad“ und „Plasma“, sowie unter den Bedingungen „Standard“ und „Projektion“ in einer vergleichbaren Größenordnung.

Für den Faktor VARIANTE ergab die zweifaktorielle Varianzanalyse keinen signifikanten Haupteffekt (siehe Anhang A.1). Der Haupteffekt für den Faktor SICHT war signifikant, $F(1)=12.189$, $p \leq .05$. Die Interaktion VARIANTE x SICHT fiel nicht signifikant aus.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden im Anschluss einseitige t-Tests gerechnet. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ war die SDST unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Sichtbedingung „Standard“ hochsignifikant höher, $t(20)=4.676$, $p<.001$. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigte sich für die SDST knapp kein signifikanter Unterschied, ($t(20)=1.605$, n.s.).

8.3.2.4 SRR („Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute)

Für dieses Maß wurden die Gapgrößen 0.4 und 2 betrachtet. Zunächst soll auf das Ergebnis für die Gapgröße 2 eingegangen werden. In Tabelle 8.7 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SRR2, getrennt nach Bedingung, dargestellt.

Tabelle 8.7 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
SICHT	„5 Grad“	19.75 (0.94)	23.66 (1.11)	21.70 (0.94)
	„Standard“	18.58 (1.12)	17.69 (1.02)	18.14 (1.02)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	19.16 (0.94)	20.68 (0.94)	

Wie Tabelle 8.7 zeigt, fiel die mittlere SRR_2 unter der Sichtbedingung „5 Grad“ höher aus als unter der Sichtbedingung „Standard“. Die mittlere SRR_2 der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ lag über derjenigen der Variante „Plasma“. Der Standardfehler unter der Bedingung „Standard“ war höher als die drei anderen Standard-fehler.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab für den Faktor VARIANTE einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=8.611$, $p \leq .01$. Der Haupteffekt für den Faktor SICHT [$F(1)=21.317$, $p \leq .01$], sowie die hybride Interaktion VARIANTE x SICHT [$F(1)=17.406$, $p \leq .01$] fielen ebenfalls hochsignifikant aus (siehe Anhang A.1).

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden im Anschluss einseitige t-Tests gerechnet. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigte sich bei dem Vergleich der beiden Sichtbedingungen für die SRR_2 kein signifikanter Unterschied, ($t(20)=1.294$, n.s.). Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ fiel die SRR_2 unter der Sichtbedingung „5 Grad“ verglichen mit der Sichtbedingung „Standard“ hochsignifikant höher aus, $t(20)=5.840$, $p<.001$. Unter der Sichtbedingung „Standard“ unterschieden sich die beiden Varianten nicht signifikant ($t(20)=1.267$, n.s.). Unter der Sichtbedingung „5 Grad“ war die SRR_2 für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ hochsignifikant höher, $t(20)=-4.664$, $p<.001$.

In Tabelle 8.8 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß $SRR_{0.4}$, getrennt nach Bedingung, dargestellt.

Tabelle 8.8 Maß $SRR_{0.4}$: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
SICHT	„5 Grad“	29.55 (4.69)	32.80 (3.80)	31.17 (0.89)
	„Standard“	28.97 (4.26)	29.90 (3.67)	29.43 (0.82)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	29.26 (0.88)	31.35 (0.77)	

Wie Tabelle 8.8 zeigt, fiel die mittlere $SRR_{0.4}$ unter der Sichtbedingung „5 Grad“ höher aus als unter der Sichtbedingung „Standard“. Die mittlere $SRR_{0.4}$ der Variante „Projektion“ lag über derjenigen der Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Die Standardfehler für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ lagen über denjenigen für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab für den Faktor VARIANTE einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=24.031$, $p \leq .01$. Der Haupteffekt für den Faktor SICHT [$F(1)=7.833$, $p \leq .01$], sowie die ordinale Interaktion VARIANTE x SICHT [$F(1)=10.152$, $p \leq .01$] erwiesen sich ebenfalls als hochsignifikant (siehe Anhang A.1).

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden im Anschluss einseitige t-Tests gerechnet. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigte sich bei dem Vergleich der beiden Sichtbedingungen für die $SRR_{0.4}$ kein signifikanter Unterschied, ($t(20)=0.679$, n.s.). Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ fiel die $SRR_{0.4}$ unter der Sichtbedingung „5 Grad“ verglichen mit der Sichtbedingung „Standard“ hochsignifikant höher aus, $t(20)=5.175$, $p<.001$. Unter der Sichtbedingung „Standard“ unterschieden sich die beiden Varianten nicht signifikant ($t(20)=-1.577$, n.s.). Unter der Sichtbedingung „5 Grad“ war die

$SRR_{0.4}$ für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ hochsignifikant höher, $t(20)=-6.083$, $p<.001$.

Abschließend sollen die Ergebnisse maßübergreifend zusammengefasst werden. Der Faktor SICHT fiel für alle vier Maße signifikant bzw. hochsignifikant aus. Der Faktor VARIANTE war nur bei den Maßen SRR_2 und $SRR_{0.4}$ hochsignifikant. Für die Maße SDLP, TLC_{mean}, SRR_2 und $SRR_{0.4}$ erwies sich die Interaktion VARIANTE x SICHT signifikant bzw. hochsignifikant.

Die weiterführende Analyse des Faktors SICHT für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ ergab für die Maße SDLP, SDST, SRR_2 und $SRR_{0.4}$ unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Sichtbedingung „Standard“ hochsignifikant höhere Werte. Die TLC_{mean} verringerte sich unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Sichtbedingung „Standard“ hochsignifikant. Die Querregelung fiel für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ unter der Sichtbedingung „5 Grad“ somit instabiler aus als unter der Sichtbedingung „Standard“.

Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigte das Maß SDLP unter der Sichtbedingung „5 Grad“ verglichen mit der Sichtbedingung „Standard“ einen hochsignifikanten Anstieg. Das Maß TLC_{mean} verringerte sich unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Sichtbedingung „Standard“ hochsignifikant. Die drei Lenkmaße SDST, SRR_2 und $SRR_{0.4}$ zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Sichtbedingungen. Die Querregelung fiel für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ unter der Sichtbedingung „5 Grad“ somit instabiler aus als unter der Sichtbedingung „Standard“. Diese Unterschiede spiegelten sich jedoch nicht in signifikanten Unterschieden in den Lenkmaßen.

Die weiterführende Analyse der signifikanten bzw. hochsignifikanten Interaktionen lieferte unter der Sichtbedingung „5 Grad“ für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ verglichen mit der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ die hochsignifikant höhere SRR_2, die hochsignifikant höhere $SRR_{0.4}$ und die hochsignifikant niedrigere TLC_{mean}. Unter der Sichtbedingung „Standard“ fiel die SDLP für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ im Vergleich zu der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ hochsignifikant niedriger aus.

8.3.3 Subjektive Bewertung

Die Versuchsfahrten wurden von den Probanden mit Hilfe des Fragebogens A2a bzw. A2b (siehe Anhang A.1) im Anschluss an jede Fahrt beurteilt. Die Beurteilung erfolgte anhand einer fünfstufigen Skala. Für die Überprüfung der vierten Hypothese wurde die Beantwortung der Frage herangezogen, wie schwierig das Fahren in der jeweiligen Fahrsimulatorvariante unter der jeweiligen Sichtbedingung war. Eine Bewertung mit einer „1“ bedeutete „sehr schwierig“, eine Bewertung mit einer „5“ „sehr einfach“. Die übrigen Daten wurden ergänzend erhoben, aber nicht weiterführend quantitativ ausgewertet. In Tabelle 8.9 sind die Mittelwerte und Standardfehler für die Beantwortung der Frage nach der Schwierigkeit der einzelnen Fahrten, getrennt nach Bedingung, aufgeführt.

Tabelle 8.9 Beurteilung der Schwierigkeit der einzelnen Fahrten in der jeweiligen Fahrsimulatorvariante: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„5 Grad“	2.38 (0.15)	2.19 (0.18)
	„Standard“	4.00 (0.23)	4.00 (0.22)

Wie Tabelle 8.9 zeigt, wurden die Fahrten unter der Sichtbedingung „5 Grad“ verglichen mit der Sichtbedingung „Standard“ als schwieriger beurteilt. Zur Überprüfung, ob diese deskriptiv festgestellten Unterschiede auch einer Signifikanzprüfung Stand halten, wurden zwei Wilcoxon Tests gerechnet. Von t-Tests wurde abgesehen, da unklar war, ob die Abstände zwischen den einzelnen Antwortstufen von allen Probanden als äquidistant wahrgenommen worden waren. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ wurde das Fahren unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Sichtbedingung „Standard“ als hochsignifikant schwieriger eingestuft ($Z=-3.774$; $p<.001$). Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ wurde die Fahrt unter der Sichtbedingung „5 Grad“ verglichen mit der Sichtbedingung „Standard“ ebenfalls als hochsignifikant schwieriger beurteilt ($Z=-4.030$; $p<.001$).

8.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Für die qualitative Effektstärkenbetrachtung wurden die Effektstärken, wie in Kapitel 7 beschrieben, berechnet[1]. Im Hinblick auf eine bessere Interpretierbarkeit wurden die Effektstärken für alle elf Maße bzw. Berechnungsvarianten graphisch aufbereitet (siehe Abbildung 8.3).

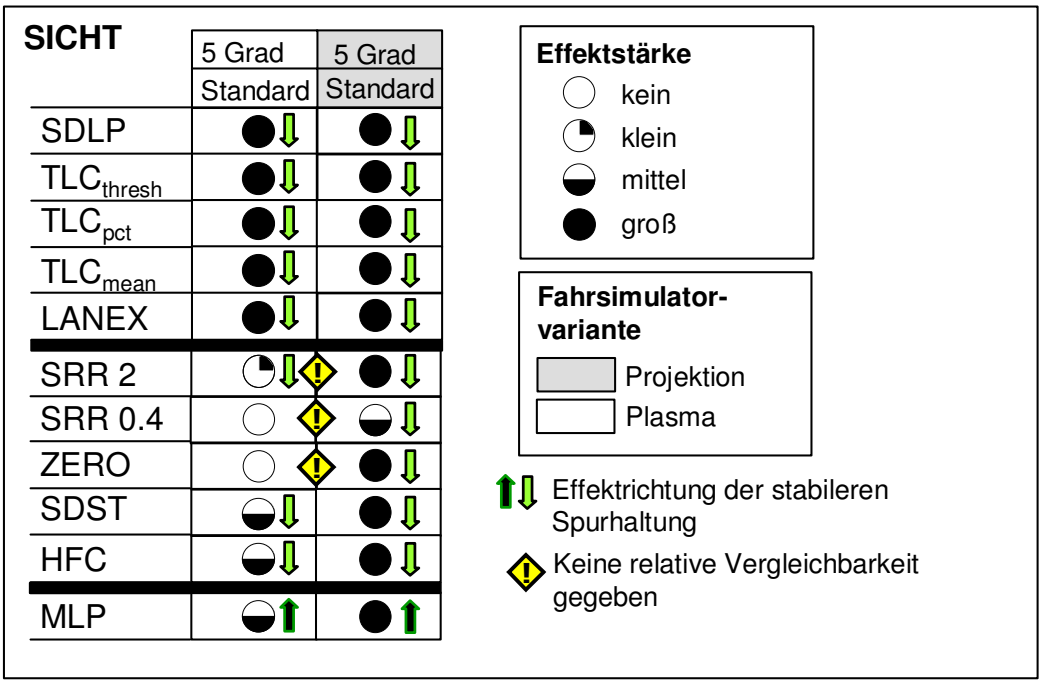

Abbildung 8.3 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit

In Abbildung 8.3 sind im oberen Bereich die Effektstufen der Spurmaße und im mittleren Bereich die Effektstufen der Lenkmaße graphisch für jede Bedingung eingezeichnet. Die Effektstufen für das Maß MLP befinden sich im unteren Bereich. Die Richtung des Effekts einer Bedingung ist durch die Pfeilrichtung gekennzeichnet. Die Fahrsimulatorvariante ist durch die farbige Hinterlegung der Kopfspalten codiert. Eine weiße Hinterlegung steht für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“, grau steht für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Identische Bedingungen zwischen den Fahrsimulatorvarianten, bei denen keine relative Vergleichbarkeit gemäß Abschnitt 7.4.2 gegeben ist, sind durch ein in einer Raute eingefasstes Ausrufezeichen markiert.

Am Beispiel des Lenkmaßes SRR2 soll die graphische Aufbereitung zur besseren Verständlichkeit erläutert werden, bevor die Effektstärken in ihrer Gesamtheit beschrieben werden. Das Maß SRR2 befindet sich im unteren Bereich in der Gruppe der Lenkmaße. Bei dem Vergleich der Bedingungen „5 Grad“ und „Standard“ trat bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ ein kleiner Effekt auf. Die Effektstärke für den Vergleich dieser Bedingungen bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ war groß. Die Effektrichtung für beide Fahrsimulatorvarianten war identisch und zeigte gemäß Abschnitt 5.3 für die Sicht-

[1] Die für die Effektstärkenberechnung verwendeten Mittelwerte und Standardfehler der sechs zusätzlichen Maße können Anhang A.1 entnommen werden.

bedingung „Standard“ jeweils die stabilere Querregelung. Da sich der kleine und der große Effekt bei diesen Bedingungen zwischen den Fahrsimulatorvarianten um mehr als eine Effektstufe unterschieden, war keine relative Vergleichbarkeit gegeben. Dieser Umstand kann dem Rautensymbol zwischen den beiden Vergleichen entnommen werden.

Wie Abbildung 8.3 entnommen werden kann, zeigten alle Spurmaße für beide Fahrsimulatorvarianten große Effekte und können damit als sensitiv für die Einschränkung des Sichtfeldes angesehen werden. Bei den Lenkmaßen zeigte sich, dass nach der Fahrsimulatorvariante unterschieden werden muss. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zeigten sich auch hier, bis auf den mittleren Effekt des Maßes $SRR_{0.4}$, große Effekte. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ hatten die Maße ZERO und $SRR_{0.4}$ keinen Effekt und waren somit für die Einschränkung des Sichtfeldes nicht sensitiv. Die übrigen Maße zeigten eine geringere Sensitivität als bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Das Maß SRR_2 wies bei der Variante „Plasma“ nur einen kleinen Effekt auf, SDST und HFC hatten einen mittleren Effekt.

Die Sensitivität der Spurmaße für die Einschränkung des Sichtfeldes war ausnahmslos gleich. Alle Spurmaße wiesen einen großen Effekt auf. Für die Variante „Projektion“ galt diese Aussage auch für die Lenkmaße. Auch diese zeigten, bis auf das Maß $SRR_{0.4}$, große Effekte. Die mittlere Effektstärke des Maßes $SRR_{0.4}$ unterschied sich aber nicht um mehr als eine Effektstufe, so dass das Verhalten dieser Maße gemäß Abschnitt 7.4.2 als vergleichbar angesehen werden kann.

Das Maß MLP zeigte für die Sichtfeldeinschränkung den stabileren Wert bzw. eher eine Ausrichtung des Fahrzeugs zur rechten Spurmarkierung hin.

Für ein Vorliegen von relativer Vergleichbarkeit der Fahrsimulatorvarianten wurde postuliert, dass sich die Effektstärken derselben Bedingungen nicht um mehr als eine Effektstufe unterscheiden dürfen. Hier zeigte sich, gemäß Abbildung 8.3, für alle Maße, bis auf die Lenkmaße SRR_2, $SRR_{0.4}$ und ZERO, relative Vergleichbarkeit. Bei diesen Maßen unterschieden sich die Effektstärken um mehr als eine Stufe. Am größten fiel der Unterschied zwischen den Fahrsimulatorvarianten bei dem Maß ZERO aus. Der Effekt bei der Variante „Projektion“ war groß, während es bei der Variante „Plasma“ keinen Effekt gab.

Unter absoluter Vergleichbarkeit wird das Vorliegen keines oder eines kleinen Effekts zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten innerhalb einer Sichtbedingung verstanden (vgl. Abschnitt 7.4.2).

Für eine bessere Übersicht sind die Effektstärken in Abbildung 8.4 entsprechend gruppiert.

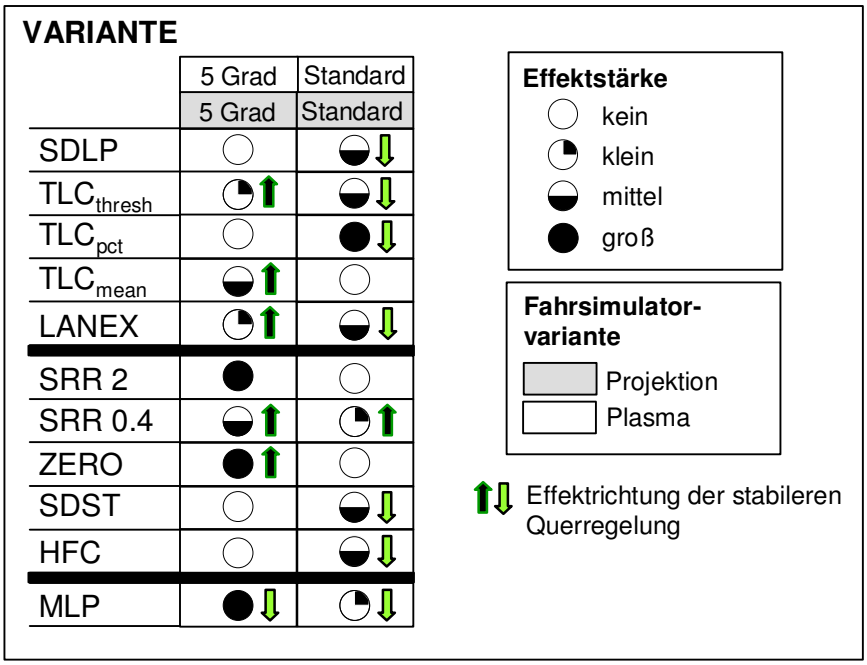

Abbildung 8.4 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit

Gemäß Abbildung 8.4 lagen, einschließlich der MLP, bei 11 der 22 Maß-Bedingungs-Kombinationen Verletzungen der absoluten Vergleichbarkeit vor. Bei Betrachtung der Fahrsimulatorvarianten unter der Sichtbedingung „Standard“ war die absolute Vergleichbarkeit in sechs der 11 Fälle verletzt, was einem Prozentanteil von etwa 54% entspricht. Auffällig ist, dass für kein einziges Maß über beide Sicht-bedingungen hinweg absolute Vergleichbarkeit vorlag. Die absolute Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten wurde aufgrund der Vielzahl an Verletzungen als eher gering angesehen.

Der Vergleich der Sensitivität der Lenkmaße SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ und ZERO ergab, dass die Effektrichtungen für beide Maße immer gleichsinnig waren und sich nicht um mehr als eine Effektstärkenstufe unterschieden. Der Vergleich der TLC-Berechnungs-varianten lieferte ein absolut homogenes Bild mit durchgängig hohen Effektstärkung und identischer Effektrichtung.

8.4 Diskussion

In dem vorliegenden Experiment wurde untersucht, wie sich peripheres Sehen („5 Grad“ vs. „Standard“) und die statische Fahrsimulatorvariante („Plasma“ vs. „Projektion“) auf die Querregelung auswirken. Dies sollte anhand von vier ausgewählten Lenk- und Spurmaßen festgestellt werden.

Die Fragen wurden anhand einer speziell angepassten Refraktionsbrille sowie der beiden statischen Fahrsimulatorvarianten der BMW Group untersucht. Damit für alle Probanden eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit gegeben war, nahmen nur Probanden ohne Vorerfahrung mit Fahrsimulatorfahrten an der Untersuchung teil. Weiterhin wurde eine Sollgeschwindigkeit von 140 km/h vorgegeben und die Probanden wurden instruiert, so zu fahren, wie sie es unter realen Bedingungen auch tun würden.

Hypothese 1, welche besagte, dass eingeschränkte Sicht zu instabilerer Querregelung führen sollte, konnte für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ vollständig bestätigt werden. Bei allen überprüften Spur- und Lenkmaßen führte die Sichteinschränkung zu einer instabileren Querregelung gemäß Abschnitt 7.4.2. Bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ führte die Sichtfeldeinschränkung jedoch nur bei den Spurmaßen vollständig zu signifikanten Ergebnissen. Bei den Lenkmaßen zeigten SDST, SRR_{2} und $SRR_{0.4}$ keine signifikanten Ergebnisse, weswegen bei Anwendung des strengen Kriteriums bei der Signifikanzprüfung (vgl. Abschnitt 8.3.2) die Hypothese für die Lenkmaße abgelehnt werden musste, obgleich die Effektrichtung auch hier eine instabilere Fahrzeugführung andeutete.

Das im Vergleich zu der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ nicht signifikante Abschneiden der drei Lenkmaße konnte jedoch nicht eindeutig mit dem visuellen Eindruck der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ erklärt werden, da bei diesem Experiment der Lenkwiderstand der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ nicht intendiert niedriger ausfiel. Mourant und Sadhu (2002) fanden bei dem Vergleich von zwei Lenkrädern in einem Fahrsimulator mit unterschiedlichem Lenkwiderstand keinen Einfluss des Lenkwiderstands bei SDLP bzw. die für den vorliegenden Fall interessantere SDST. Allerdings wurde dieser Versuch nur mit acht Probanden durchgeführt. Die Fahrszene enthielt bei Mourant und Sadhu (2002) auch eine Einblendung eines virtuellen Lenkrads und Tachometers, was für eine starke visuelle Referenz sorgte. Einen indirekten Hinweis auf den Einfluss von unterschiedlichem Fahrzeugführungsverhalten liefert eine Untersuchung von Godthelp und Käppler (1988). Bei diesem Versuch in einem realen Fahrzeug wurde durch unterschiedlichen Reifendruck über- oder untersteuerndes Fahrzeugverhalten simuliert. Es zeigte sich, dass die Probanden wesentlich mehr Schwierigkeiten bei einem übersteuernden Fahrzeug hatten. Bei dem vorliegenden Experiment liegt die Vermutung nahe, dass der fehlende Lenkwiderstand eher zu einem Übersteuern führte, was zumindest vom Trend her durch die Effektrichtung angedeutet ist.

Innerhalb einer Fahrsimulatorvariante und vor allem bei der Variante „Projektion“ wurden die Ergebnisse von Owens und Tyrrell (1999), selbst mit einer weniger extremen Sichtfeldeinschränkung und besserer graphischer Darstellung, bestätigt. Insgesamt sprechen diese Befunde dafür, dass bei einer Geschwindigkeit von 140 km/h die Zeit offensichtlich nicht ausreicht, alle für die Querregelungsaufgabe notwendigen visuellen

Informationen mittels sequentieller Fixationen zu akquirieren. Eine rein foveale Verarbeitung der relevanten Reize scheint zu zeitintensiv zu sein. Vielmehr scheint eine parallele periphere Informationsverarbeitung der visuellen Reize für eine stabile Querregelung notwendig zu sein. Die Ergebnisse liefern damit einen weiteren Hinweis dafür, dass der periphere Bereich bei höheren Geschwindigkeiten (vgl. Land & Horwood, 1995) eine wichtige Rolle bei der Querregelung spielt. Allerdings lässt die Operationalisierung des vorliegenden Experiments keinen direkten Vergleich mit den Experimenten von Land und Horwood (1995) und Chatziastros et al. (1999) zu, da hier nicht gezielt der Nahbereich präsentiert und verdeckt wurde.

Die Ergebnisse zu **Hypothese 2**, nach welcher die Variante „Projektion“ bei uneingeschränkter Sicht überlegen sein sollte, konnten vor dem Hintergrund des nicht intendiert niedrigeren Lenkwiderstandes der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ nicht eindeutig interpretiert werden. Auftretende Unterschiede konnten entweder auf den unterschiedlichen Lenkwiderstand oder die unterschiedlichen visuellen Eigenschaften der beiden Fahrsimulatorvarianten zurückgeführt werden.

Bei den Spurmaßen zeigte nur die SDLP eine signifikant stabilere Querregelung bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“, was zwar einerseits hypothesenkonform war, auf der anderen Seite aber genauso gut auf die bessere haptische Rückmeldung des Lenkrads zurückgeführt werden könnte. Das nicht signifikante Ergebnis bei der TLC_{mean} spricht allerdings gegen die Vermutung, dass bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ ein Übersteuern vorlag. Auch die Ergebnisse der Lenkmaße sprechen gegen ein Übersteuern, da der Vergleich der beiden Fahrsimulatorvarianten hier für alle Lenkmaße ein nicht signifikantes Ergebnis zeigte.

Unabhängig von den Unterschieden hinsichtlich des Lenkwiderstandes stützte also nur das Lenkmaß SDLP die aufgestellte Hypothese. Die Unterschiede hinsichtlich des Lenkwiderstandes erfordern es jedoch, diese Fragestellung in den folgenden Experimenten erneut aufzugreifen.

Der nicht intendiert niedrigere Lenkwiderstand der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ erschwerte auch für **Hypothese 3**, welche besagte, dass die Variante „Plasma“ bei eingeschränkter Sicht überlegen sein sollte, die Interpretation der Ergebnisse.

Für die Spurmaße zeigte nur die TLC_{mean} ein signifikantes Ergebnis im Sinne der Hypothese. Damit verhält sich das Ergebnis für die eingeschränkte Sicht genau spiegelbildlich zu den Ergebnissen bei uneingeschränkter Sicht, bei der die SDLP das signifikante Ergebnis zeigte. Auf der Seite der Lenkmaße fand sich für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ eine hochsignifikant niedrigere Lenkaktivität für die beiden Lenkmaße SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$. Aufgrund der aufgetretenen Unterschiede bezüglich des Lenkwiderstandes soll hier aber, wie bei Hypothese 2, auf weitergehende Interpretationen verzichtet werden.

Die Auswertung der Frage nach der Schwierigkeit, in der jeweiligen Fahrsimulatorvariante unter der jeweiligen Sichtbedingung zu fahren (Fragebogen A2a bzw. A2b) konnte die **Hypothese 4** eindeutig bestätigen. Für beide Fahrsimulatorvarianten wurden die Fahrten unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu den Fahrten unter der Sichtbedingung „Standard“ als signifikant schwieriger beurteilt. Dieses Ergebnis spricht

dafür, dass für beide Fahrsimulatorvarianten eine neue Strategie überlegt und während des Fahrens geübt werden musste, was so einschneidend war, dass es sich auch in der subjektiven Beurteilung widerspiegelte. Diese Ergebnisse passen damit zu den Fahrdaten.

Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Mit der qualitativen Effektstärkenbetrachtung sollte ermittelt werden, ob die erhobenen Maße und ihre Berechnungsvarianten innerhalb einer Bedingung gleichermaßen sensitiv sind und ob die beiden eingesetzten Fahrsimulatorvarianten hinsichtlich ihrer Ergebnisse vergleichbar sind. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass mit dieser Art der Betrachtung keine Hypothesen überprüft werden sollten, sondern im Sinne der Validierungsuntersuchungen (vgl. Abschnitt 4.2 und 4.3) die beiden Fahrsimulatorvarianten qualitativ verglichen werden sollte. Weiterhin wurde mit Hilfe der Effektstärken das Verhalten der Maße in qualitativer Weise betrachtet.

Wie aufgrund der Signifikanzüberprüfung nicht anders zu erwarten war, zeigte die Sichtfeldeinschränkung für die Spurmaße durchgängig eine hohe Sensitivität in Form von großen Effekten. Bei den Lenkmaßen zeigten sich diese großen Effekte allerdings nur bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ traten diese großen Effekte nicht auf. Bei den Maßen SRR_2, $SRR_{0.4}$ und ZERO war überdies keine relative Vergleichbarkeit gegeben. Dieses Ergebnis konnte aufgrund des nicht intendiert unterschiedlich ausgefallenen Lenkwiderstandes nicht allein der unterschiedlichen Bildqualität zugeschrieben werden. Die Tatsache, dass diese drei Maße für die Sichtfeldeinschränkung keine Sensitivität zeigen, könnte auch auf den geringeren Lenkwiderstand zurückzuführen sein.

Das Verhalten der MLP stützt die unter Abschnitt 5.3 aufgestellte Vermutung, dass eine Ausrichtung zur rechten Spurbegrenzung hin als sicherer angesehen wird. Bei dem visuell stark fordernden Fahren mit eingeschränktem Sichtfeld richteten sich die Probanden näher an der rechten Spurmarkierung aus, was sich in einem mittleren und einem großen Effekt bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ respektive „Projektion“ zeigt.

Bei der Analyse der absoluten Vergleichbarkeit fiel auf, dass trotz der durchgängig großen Effekte bei den Spurmaßen nicht bei allen Maßen und Bedingungen absolute Vergleichbarkeit gegeben war. Dieses Ergebnis lässt es schwierig erscheinen, bei Fahrsimulatoruntersuchungen Fehlergrenzen für die Beurteilung der Fahrleistung zu verwenden, ohne eine Art „Eichung“ vorzunehmen. Da diese Analyse aber auch auf dem Vergleich der beiden Fahrsimulatorvarianten beruhte, musste dieses Ergebnis als vorläufig angesehen werden, da die Ergebnisse durch den nicht intendierten Lenkwiderstand konfundiert waren. Die Frage, ob sich dieses Ergebnis auch bei identischem Lenkwiderstand replizieren lässt, wurde deswegen in den Folgeexperimenten aufgegriffen.

Bezüglich der unterschiedlichen Berechnungsvarianten lässt sich zumindest für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“, bei welcher der Lenkwiderstand nicht gestört war, sagen, dass sich die unterschiedlichen Berechnungsvarianten der TLC gleich verhielten. Auch das Lenkmaß ZERO zeigte dasselbe Verhalten wie die SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$. Die Sichtfeldeinschränkung, welche wohl eher einer visuellen als einer kognitiven Belastung

zugeordnet werden kann, führte, ähnlich wie bei Östlund et al. (2005), bei der SRR_2 zu einem größeren Effekt als bei der $SRR_{0.4}$, welche als sensitiver für kognitive Beanspruchung gilt.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ die Wegnahme der peripheren Informationen zu einer instabileren Querregelung geführt hat. Alle betrachteten Maße zeigten dabei eine vergleichbare Verschlechterung. Dieses Ergebnis wird als ein Beleg dafür gesehen, dass die periphere Informationsverarbeitung bei einer Geschwindigkeit von 140 km/h und einer moderat gekrümmten Strecke nicht vollständig durch foveales Sehen kompensiert werden kann. Unter der Sichtbedingung „5 Grad“ zeigte sich eine insgesamt instabilere Querregelung, obwohl alle aus der Literatur bekannten, für die Querregelung relevanten, visuellen Informationen sequentiell zugänglich waren. Für die Variante „Plasma“ konnte keine ganz so eindeutige Aussage getroffen werden. Der nicht intendiert zu niedrig ausgefallene Lenkwiderstand wird dabei als wahrscheinlichste Ursache angenommen. Fahrten unter der Sichtbedingung „5 Grad“ wurden, verglichen mit der Sichtbedingung „Standard“, für beide Fahrsimulatorvarianten subjektiv als signifikant schwieriger eingestuft.

Der Vergleich der beiden Fahrsimulatorvarianten unter den beiden Sichtbedingungen ergab, dass unter der Sichtbedingung „Standard“ nur das Maß SDLP die stabilere Querregelung für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ nachweisen konnte. Unter der Sichtbedingung „5 Grad“ zeigte das Spurmaß TLC_{mean} die stabilere Querregelung zugunsten der Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Die Lenkmaße $SRR_{0.4}$ und SRR_2 bildeten ebenfalls die stabilere Querregelung für die Variante „Plasma“ unter der eingeschränkten Sichtbedingung ab. Dies wird als Hinweis darauf gesehen, dass spezielle Eigenschaften der Fahrsimulatorvarianten durchaus Einfluss auf die Ergebnisse einer Untersuchung haben können. Die Ergebnisse unterstreichen aber auch, dass ein Mindestlenkwiderstand für eine stabile Querregelung im Fahrsimulator gegeben sein muss. Das Thema Lenkwiderstand sollte bei simulatorübergreifenden Betrachtungen, neben den Themen Geschwindigkeit, Sichtfeld und Streckenverlauf, in jedem Fall berücksichtigt werden.

Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“, welche über den korrekten Lenkwiderstand verfügte, erwiesen sich alle betrachteten Maße als sensitiv.

Absolute Vergleichbarkeit war nur bei einer Minderheit der Maße gegeben. Dieses Ergebnis spricht dafür, ergebnisübergreifende Betrachtungen bei unterschiedlichen Fahrsimulatoren nicht anhand der Absolutwerte vorzunehmen.

Die Sensitivität der Spurmaße TLC_{mean} und SDLP konnte für beide Fahrsimulatorvarianten gemäß der Effektstärkenbetrachtung klar bestätigt werden. Für die Variante „Projektion“ bestätigte sich die Sensitivität der drei Lenkmaße bzw. Berechnungsvarianten SDST, SRR_2 und $SRR_{0.4}$ hinsichtlich der Sichteinschränkung. Insgesamt sprechen die Ergebnisse dafür, die für die Hypothesenprüfung ausgewählten Lenk- und Spurmaße für das nächste Experiment beizubehalten.

Gemäß des Vergleichs der Sensitivität der Lenkmaße SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ und ZERO wäre für das vorliegende Experiment das aufwandsärmere Maß ZERO ausrei-

chend gewesen. Im Hinblick auf die drei TLC-Berechnungsvarianten hätte eine der drei Berechnungsvarianten ebenfalls vollkommen ausgereicht.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen soll nun in einem weiteren Experiment untersucht werden, ob sich die Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten unter der Sichtbedingung „Standard“ bei identischem Lenkwiderstand replizieren lassen. Da die Bearbeitung von sekundären Aufgaben ein gängiges Untersuchungsszenario darstellt, soll zusätzlich analysiert werden, wie sich die Bearbeitung von sekundären Aufgaben unterschiedlicher Modalität auf die Querregelung auswirken. Es soll weiterhin überprüft werden, inwiefern sich Fremdverkehr auf die Querregelung auswirkt. Neben der Wirkungsweise dieser Einflussfaktoren an sich soll überprüft werden, inwiefern sich die Ergebnisse in Abhängigkeit von der eingesetzten Fahrsimulatorvariante ändern.

9 Experiment 2: „Der Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung, Fremdverkehr und Fahrsimulatorvariante auf die Querregelung“

9.1 Ziel der Untersuchung

Im Rahmen von Experiment 2 sollten die beiden Fahrsimulatorvarianten unter weiteren Bedingungen untersucht werden.

Die Untersuchung des Einflusses von sekundärer Aufgabenbearbeitung, etwa in Zusammenhang mit der Erprobung eines neuen Fahrerinformationssystems, ist ein typisches Szenario für einen industriell genutzten Fahrsimulator. Wie in Abschnitt 3.3 herausgearbeitet wurde, können Aufgaben unterschiedlich stark mit der primären Fahraufgabe interferieren. Daher sollten im Rahmen von Experiment 2 auch unterschiedliche Aufgabentypen untersucht werden. Auf der einen Seite sollte der Einfluss der Fahrsimulatorvariante analysiert werden. Auf der anderen Seite war von Interesse, ob sich die für die SDLP ermittelten Befunde von Engström et al. (2005) auch für die vorliegenden Fahrsimulatorvarianten zeigten, nachdem diese bei einer Metaanalyse (Horrey & Wickens, 2004) nicht gefunden worden waren.

Bei solchen Untersuchungen ist es natürlich wichtig, die Fahrbedingungen möglichst realistisch zu simulieren, um die allgemeine Aussagekraft einer Untersuchung zu erhöhen. So ist es beispielsweise sinnvoll, im Fahrsimulator den Probanden nicht als einzigen Fahrteilnehmer fahren zu lassen, sondern Fremdverkehr in das Versuchssetting einzubauen. Chatziastros (2003) untersuchte das Verhalten von Fahrern, die von einzelnen Fremdfahrzeugen überholt wurden, selbst ein einzelnes Fremdfahrzeug überholten oder an einem stationären Fremdfahrzeug vorbeifuhren. Die Auswirkung eines Stroms kontinuierlicheren Fremdverkehrs ist jedoch nach eigenem Kenntnisstand kaum untersucht.

Im Rahmen von Experiment 1 wurden aus diesem Grund drei Einflussgrößen variiert:

Fahrsimulatorvariante: Wie bereits bei Experiment 1 kamen die beiden Fahrsimulatorvarianten mit der Projektionsleinwand („**Projektion**“) und mit den Plasmabildschirmen („**Plasma**“) zum Einsatz.

Fremdverkehr: Zur Untersuchung des Einflusses des Fremdverkehrs wurden die Probanden in den einzelnen Bedingungen einmal von einem kontinuierlichen Strom von Fahrzeugen überholt („**Mit“**) und waren das andere Mal die einzigen Verkehrsteilnehmer („**Ohne“)**.

Sekundäre Aufgabenbearbeitung: Zur Untersuchung des Einflusses von sekundärer Aufgabenbearbeitung wurden von den Probanden zwei verschiedene Arten von Aufgaben bearbeitet. Die eine Aufgabe bestand im Wechseln von Kassetten während der Fahrt („**Task visuell-manuell**“), die andere Aufgabe in der fortwährenden Subtraktion einer Zahl von einer großen Ausgangszahl („**Task kognitiv**“). Diesen Bedingungen mit

Aufgabenbearbeitung standen jeweils Fahrten ohne Aufgabenbearbeitung gegenüber („**Basis visuell-manuell**“) und („**Basis kognitiv**“).

Die Hälfte der Probanden fuhr in jeweils einer der beiden statischen Fahrsimulatorvarianten („Plasma“ vs. „Projektion“), welche den Varianten in Experiment 1 entsprachen. In der zugewiesenen statischen Fahrsimulatorvariante durchliefen sie acht Bedingungen. Diese acht Bedingungen verteilten sich auf vier Einzelfahrten und setzten sich folgendermaßen zusammen: Die Probanden absolvierten zwei Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung („visuell-manuell“ und „kognitiv“), einmal „Mit“ und einmal „Ohne“ Fremdverkehr („Mit“ vs. „Ohne“). Weiterhin führten sie die dazugehörige Basisfahrt aus, welche nur aus der primären Fahraufgabe bestand und ebenfalls einmal „Mit“ und einmal „Ohne“ Fremdverkehr erfolgte („Mit“ vs. „Ohne“).

Die Bestimmung der Größe und der Richtung dieser drei Einflussfaktoren erfolgte anhand von objektiven und subjektiven Daten. Die subjektiven Daten wurden mit Hilfe von Fragebögen erhoben. Die objektiven Daten bildeten alle betrachteten Lenk- und Spurmaße (vgl. Kapitel 5), welche gemäß Kapitel 7 berechnet wurden. Aufbauend auf den bisherigen Ausführungen wurden die folgenden Hypothesen überprüft.

Hypothese 1a: Die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe führt im Vergleich zu der Basisfahrt, unabhängig vom Fremdverkehr, zu instabilerer Querregelung. Diese sekundäre Aufgabe sollte relativ häufig Blickabwendungen von der Straße erfordern und hat schon in anderen Untersuchungen eine beeinträchtigende Wirkung auf die primäre Fahraufgabe gezeigt (vgl. Bengler et al., 2004).

Hypothese 1b: Die sekundäre kognitive Aufgabe führt im Vergleich zu der Basisfahrt, unabhängig vom Fremdverkehr, zu einer stabileren Querregelung. Dieser Einfluss wird aufgrund der Befunde von Engström et al. (2005) vermutet. Ein Grund für die Stabilisierung könnte in einer Einengung des Sichtfelds liegen, die eine stärkere Konzentration auf die Fahrbahn bewirkt. Atchley und Dressel (2004) berichten von einer solchen, das Sichtfeld einengenden, Wirkung kognitiver Aufgaben. Bei Atchley und Dressel (2004) wurde diese Tunnelsicht durch bloße Konversation hervorgerufen.

Hypothese 2a: Analog zu Experiment 1 sollte die Querregelung während einer Basisfahrt bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ stabiler ausfallen. Bei dieser Variante ist ein stärkerer Bezug zwischen Fahrszene und Motorhaube gegeben (vgl. Kapitel 7). Es wurde vermutet, dass dieser visuelle Bezug (vgl. Wilkie & Wann, 2002) zusammen mit dem etwas größeren horizontalen Sichtfeld bei jetzt identischem Lenkwiderstand für die Querregelung für eine Basisfahrt ohne Blickabwendungen, unabhängig von dem Vorhandensein bzw. Fehlen von Fremdverkehr, entscheidender ist als die vertikalen Balken und die höhere Auflösung der Fahrsimulatorvariante „Plasma“.

Hypothese 2b: Während der Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe sollte die Querregelung in der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ stabiler ausfallen als in der Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Dies wird vermutet, da die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ über eine höhere Auflösung verfügt. Eine höhere Auflösung beeinflusste bereits bei Chatziastros et al. (1999) die Querregelung positiv. Auch wird angenommen, dass sich der zusätzliche Referenzrahmen durch die Querstreben der Plasmabildschirme stabilisierend auf die Querregelung auswirkt, was ebenfalls von

Chatziastros et al. (1999) als mögliche Begründung für die beobachtete Stabilisierung genannt wurde. Diese Querstreben könnten ebenfalls als wichtiger visueller Bezugspunkt für die Steueraufgabe im Sinne von Wilkie und Wann (2002) interpretiert werden. Diese Vorteile sollten sich besonders bei Blickabwendungen im Zuge der Ausführung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe auswirken, da bei der Blickzuwendung zur Fahrszene die Balken eine schnellere Orientierung ermöglichen und die höhere Auflösung die periphere Verarbeitung erleichtern könnten.

Hypothese 3a: Das Vorhandensein von Fremdverkehr während einer Basisfahrt sollte zu einer instabileren Querregelung führen. Dieser Einfluss wurde aufgrund der Befunde von Chatziastros (2003) vermutet, nach denen ein einzelnes Fremdfahrzeug zum einen als Risiko eingestuft zum anderen als Fixationspunkt herangezogen wird, auf den zugesteuert wird. Es wurde vermutet, dass diese Befunde auch für kontinuierlich vorbeifahrende Fahrzeuge gelten.

Hypothese 3b: Das Vorhandensein von Fremdverkehr während einer sekundären visuell-manuellen Aufgabenbearbeitung sollte zu instabilerer Querregelung führen als die Bearbeitung derselben sekundären Aufgabe „Ohne“ Fremdverkehr. Diese instabilere Querregelung wird aus ähnlichen Gründen wie bei Hypothese 3a angenommen. Allerdings sollte hier der hauptsächliche Grund in dem Auftauchen des Fremdfahrzeugs in der Peripherie zu der Instabilität führen und nicht so sehr die Fixation desselben, da der Proband eher mit der Erledigung der sekundären Aufgabe beschäftigt ist und vor allem Kontrollblicke auf die Fahrbahn werfen sollte.

Hypothese 3c: Das Vorhandensein von Fremdverkehr während der Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe sollte keinen Einfluss auf die Querregelung haben. Diese Vermutung gründet sich auf die in Hypothese 1b bereits genannte, durch kognitive Aufgaben hervorgerufene Tunnelsicht. In der Peripherie auftauchende und sich wieder entfernende Fahrzeuge sollten aufgrund der Tunnelsicht nicht den unter Hypothese 3a und 3b vermuteten Einfluss haben.

Hypothese 4: Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung sollten, unabhängig von Fahrsimulatorvariante und Fremdverkehr, im Vergleich zu Basisfahrten subjektiv als schwieriger beurteilt werden.

9.2 Methode

9.2.1 Versuchspersonen

Insgesamt 33 Probanden nahmen an der Untersuchung teil. Ein Proband musste wegen Simulatorübelkeit von der Auswertung ausgeschlossen werden. Für die Auswertung konnten damit 32 Probanden herangezogen werden. Diese 32 Probanden waren auf zwei Gruppen mit jeweils 16 Probanden aufgeteilt. Die Probanden der Gruppe „Projektion“ waren zwischen 19 und 37 Jahren alt, der Altersdurchschnitt lag bei 28.4 Jahren (SD=4.6). Die Probanden der Gruppe „Plasma“ waren zwischen 21 und 37 Jahren alt, der Altersdurchschnitt lag bei 29.6 Jahren (SD=4.5). Beide Gruppen setzten sich jeweils aus 13 Männern und drei Frauen zusammen. Die meisten Probanden waren Ingenieure. Der Gruppe „Projektion“ gehörten drei Probanden aus dem kaufmännischen Bereich an, der Gruppe „Plasma“ vier Probanden.

Der durchschnittliche Führerscheinbesitz lag für die Probanden der Gruppe „Projektion“ bei 10.4 Jahren (SD=4.6) und für die Probanden der Gruppe „Plasma“ bei 11.7 Jahren (SD=4.5). Die pro Jahr gefahrenen Kilometer können für die beiden Gruppen Tabelle 9.1 entnommen werden.

Tabelle 9.1 Fahrleistung der Probanden - getrennt nach Gruppe

	Km pro Jahr			
	< 5000	**5000 – 10000**	**10000 – 20000**	**> 20000**
Anzahl Gruppe „Plasma“	2	0	6	8
Anzahl Gruppe „Projektion“	3	4	4	5

Von den Probanden gaben drei der Gruppe „Projektion“ und neun der Gruppe „Plasma“ an, einen PC, das Touchpad am Notebook, ein Mobiltelefon und ein Navigationssystem im PKW privat oder beruflich zu nutzen. Von den übrigen Probanden nutzten sieben der Gruppe „Projektion“ und drei der Gruppe „Plasma“ drei der aufgelisteten Geräte. Bei sechs Probanden der Gruppe „Projektion“ und vier der Gruppe „Plasma“ wurden immerhin zwei der aufgelisteten Geräte privat oder beruflich verwendet.

Acht Probanden der Gruppe „Projektion“ und sechs der Gruppe „Plasma“ gaben an, Computerspiele zu spielen. Ein Proband der Gruppe „Projektion“ und zwei der Gruppe „Plasma“ benutzten dabei nach eigenen Angaben immer oder fast immer ein Spielelenkrad.

Jeweils sechs Probanden der beiden Gruppen gaben an, privat ein Auto der Marke BMW zu fahren. Lediglich ein Proband der Gruppe „Projektion“ und drei Probanden der Gruppe „Plasma“ hatten privat kein Auto zur Verfügung.

Die Probanden waren nach eigenen Angaben entweder normalsichtig oder brachten entsprechende Sehhilfen für den Versuch mit. Keiner der Probanden gab Fehlsichtigkeiten an, die nicht durch das Tragen einer entsprechenden Sehhilfe ausgeglichen werden konnten. Da bei diesem Versuch keine Refraktionsbrille eingesetzt wurde, war auch eine Brille zur Korrektur der Sehstärke zugelassen.

Alle Teilnehmer hatten bis zu diesem Versuch keine Erfahrung mit Fahrsimulatoren und waren zum Datenerhebungszeitpunkt bei der BMW Group angestellt. Die Versuchsteilnahme erfolgte während der regulären Arbeitszeit, freiwillig und aus Interesse an der Untersuchung.

Die Probanden der beiden Gruppen wurden aufgrund der genannten Daten als vergleichbar eingestuft. Unterschiede in den Ergebnissen aufgrund von Unterschieden zwischen den beiden Gruppen wurden vor diesem Hintergrund ausgeschlossen.

9.2.2 Versuchsplan

Eine Hälfte der Probanden fuhr in der statischen Fahrsimulatorvariante „Projektion“, die andere in der Variante „Plasma“. Es gab insgesamt acht Bedingungen, welche innerhalb einer Sitzung anhand von vier 10minütigen Fahrten realisiert wurden. Während der Hälfte der Fahrten bearbeiteten die Probanden abwechselnd die sekundäre visuell-manuelle und die sekundäre kognitive Aufgabe, einmal „Mit“ Fremdverkehr und einmal „Ohne“. Die vier anderen Fahrten, die Basisfahrten, bestanden nur aus der primären Fahraufgabe. Auch bei den Basisfahrten war jeweils eine „Mit“ Fremdverkehr und eine „Ohne“.

Aus Gründen der Realisierung wurden die beiden sekundären Aufgaben im Rahmen einer Fahrt bearbeitet. Dieses Vorgehen ermöglichte längere Einzelfahrten analog zu realen Fahrten. Eine Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung dauerte bei dieser Operationalisierung ca. 10 Minuten, wobei die beiden Aufgabentypen jeweils an unterschiedlichen Streckenabschnitten bearbeitet wurden. Aus Gründen der Konfundierung mit der Fahrstrecke wurden die beiden Aufgabentypen bei der Auswertung nicht direkt zueinander in Beziehung gesetzt. Für beide Aufgabentypen gab es insgesamt drei Faktoren, welche jeweils zweifach gestuft waren. Bei dem Faktor VARIANTE handelte es sich um die beiden Stufen „Plasma“ vs. „Projektion“, bei dem Faktor FREMDVERKEHR um die Stufen „Mit“ vs. „Ohne“ und bei dem Faktor FAHRT um die beiden Stufen „Task“ vs. „Basis“.

Die Faktoren FAHRT und FREMDVERKEHR wurden jeweils als within-subject Design realisiert. Aus Zeitmangel, bedingt durch den Umzug des Fahrsimulators in das neue „Zentrum für Fahrsimulation und Usability“, musste der Faktor VARIANTE in einem between-subject Design umgesetzt werden. Der resultierende gemischte dreifaktorielle 2 (VARIANTE) x 2 (FAHRT) x 2 (FREMDVERKEHR) Versuchsplan ist in Tabelle 9.2, getrennt nach Aufgabentyp, dargestellt. Die getrennte Betrachtung der beiden Aufgabentypen ist durch einen entsprechenden Trennstrich in dem Versuchsplan gekennzeichnet.

Tabelle 9.2 Versuchsplan Experiment 2

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis visuell-manuell“	**FREMD-VERKEHR**	„Mit“	16 Pbn	16 Pbn
			„Ohne“		
	„Task visuell-manuell“		„Mit“		
			„Ohne“		
	„Basis kognitiv“		„Mit“		
			„Ohne“		
	„Task kognitiv“		„Mit“		
			„Ohne“		

Als sekundäre Aufgabe wurden eine visuell-manuell beanspruchende Aufgabe sowie eine kognitiv beanspruchende Aufgabe gewählt. Als visuell-manuell beanspruchende Aufgabe wurde die Aufgabe ‚Kassette’ gewählt, welche sich bereits im Projekt ADAM (vgl. Bengler, Huesmann & Praxenthaler, 2003) als sensitiv für eine solche Ablenkung während der Fahrt in einem Fahrsimulator bewährt hatte. Bei der Wahl der kognitiven Aufgabe ging es darum, das Kurzzeitgedächtnis zu beanspruchen. In Anlehnung an Harbluk, Noy und Eizenman (2002) kam dazu eine mathematische Aufgabe zum Einsatz. Ausgehend von einer Basiszahl sollten die Versuchspersonen fortlaufend die Zahl ‚7’ subtrahieren. Die Ausgangszahlen 211 und 331 stellten dabei bewusst keine Vielfachen von ‚7’ dar, um zu verhindern, dass das ggf. auswendig gelernte 7er Einmaleins nur abgerufen werden musste.

In der Bedingung „Basis Mit Fremdverkehr“ (BMF) fuhren die Probanden die vorgegebene Strecke ab und wurden dabei von Fahrzeugen auf der mittleren und linken Spur überholt. In der Bedingung „Basis Ohne Fremdverkehr“ (BOF) fuhren die Probanden als einzige Verkehrsteilnehmer die vorgegebene Strecke ab. In der Bedingung „Task Mit Fremdverkehr“ (TMF) fuhren die Probanden die vorgegebene Strecke ab, wurden dabei von Fahrzeugen auf der mittleren und linken Spur überholt und bearbeiteten an vorgegebenen Abschnitten jeweils zweimal abwechselnd eine visuell-manuelle und eine kognitive Aufgabe. In der Bedingung „Task Ohne Fremdverkehr“ (TOF) fuhren die Probanden als einzige Verkehrsteilnehmer die vorgegebene Strecke ab und bearbeiteten an vorgegebenen Abschnitten jeweils zweimal abwechselnd eine visuell-manuelle und eine kognitive Aufgabe.

Aufgrund des umzugsbedingten Zeitmangels konnte die Probandenanzahl lediglich so gewählt werden, dass bei einem α-Fehler von 5% und einem β-Fehler von 20% für die beiden within-Faktoren mittlere und für den between-Faktor große Effekte signifikant wurden (Bortz & Döring, 1995). Die Zuteilung der Probanden zu der jeweiligen Variante erfolgte zufällig, wobei darauf geachtet wurde, dass das Geschlechterverhältnis in beiden Gruppen identisch war.

Da ein vollständiges Ausbalancieren der Reihenfolge bei dieser Stichprobengröße nicht möglich war, wurde die Abfolge so ausgewählt, dass alle vier Bedingungen jeweils

zweimal an jeder Position auftraten. Mit diesem Vorgehen sollten Sequenzeffekte auf das Ergebnis einzelner Bedingungen ausgeschlossen werden. Die entsprechenden Abfolgen sind in Tabelle 9.3 dargestellt. Zwei Probanden, jeweils einer pro Fahrsimulatorvariante, absolvierten eine Abfolge. Die Zuweisung der Probanden zu der jeweiligen Abfolge erfolgte zufällig.

Tabelle 9.3 Bearbeitungsabfolgen

Abfolge 1	Abfolge 2	Abfolge 3	Abfolge 4	Abfolge 5	Abfolge 6	Abfolge 7	Abfolge 8
TMF	BOF	TMF	BMF	BOF	TOF	BMF	TOF
BMF	BMF	TOF	BOF	TMF	BOF	TOF	TMF
TOF	TMF	BOF	TMF	TOF	BMF	BOF	BMF
BOF	TOF	BMF	TOF	BMF	TMF	TMF	BOF

Legende: TMF: Task Mit Fremdverkehr; TOF: Task Ohne Fremdverkehr; BMF: Basis Mit Fremdverkehr; BOF: Basis Ohne Fremdverkehr

Als objektive abhängige Variablen wurden die vier Lenk- und Spurmaße herangezogen, die sich bereis bei Experiment 1 für die Hypothesenprüfung bewährt hatten (vgl. Kapitel 8): „Standardabweichung der lateralen Position“ (SDLP), eine Berechnungsvariante der „Time to Line Crossing“ (TLC_{mean}), „Standardabweichung des Lenkwinkels“ (SDST), „Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute Gap 2 (SRR_2) bzw. Gap 0.4 ($SRR_{0.4}$). Die Einschätzung der einzelnen Fahrten hinsichtlich der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, bildete die subjektive abhängige Variable (vgl. Fragebogen B2a bzw. B2b).

Für die Beurteilung der Sensitivität der einzelnen Maße sowie dem Vorliegen von absoluter und relativer Vergleichbarkeit zwischen den beiden statischen Fahrsimulatorvarianten wurden die verbleibenden Maße in Abschnitt 5.1 und 5.2 berechnet. Auf der Seite der Lenkmaße handelte es sich um die „Anzahl der Nulldurchgänge“ pro Kilometer (ZERO) und den „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ (HFC). Die Spurmaße setzten sich aus der „Mittleren lateralen Position“ (MLP), der „Anzahl der Spurüberschreitungen“ pro Kilometer (LANEX) sowie zwei weiterer Berechnungsvarianten der „Time to Line Crossing“ (TLC_{thresh} und TLC_{pct}) zusammen.

9.2.3 Material und Geräte

Bei diesem Experiment wurde für beide Fahrsimulatorvarianten dieselbe Sitzkiste verwendet, um Unterschiede im Lenkwiderstand ausschließen zu können. Bei der Sitzkiste handelte es sich um denselben 7er BMW, der bereits in Experiment 1 für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ eingesetzt worden war.

Die Probanden befuhren sowohl während ihrer Eingewöhnungs- als auch während ihrer Versuchsfahrten den fiktiven Autobahnrundkurs. Die Startpunkte für die Eingewöhnungs- und die Versuchsfahrten können Abbildung 9.1 entnommen werden. Darüber hinaus zeigt Abbildung 9.1 die jeweiligen Aufgabenbearbeitungsabschnitte. An den markierten Stellen, die für die Probanden nicht sichtbar waren, begannen die Probanden jeweils mit der vorgegebenen Aufgabe.

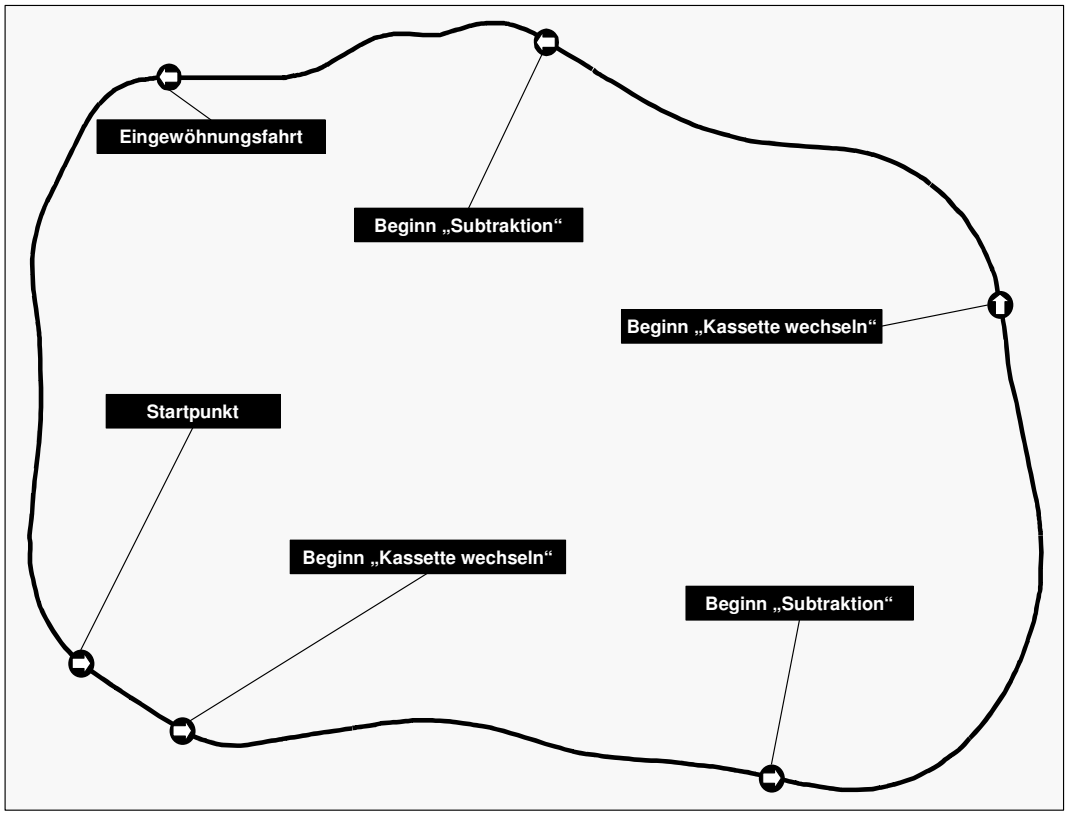

Abbildung 9.1 Schematische Darstellung der Strecke für Experiment 2

Da bei diesem Experiment zusätzlich sekundäre Aufgaben zu bearbeiten waren, wurde die vorgegebene Geschwindigkeit im Vergleich zu dem vorherigen Experiment auf 120 km/h gesenkt.

Der Fremdverkehr war für die Bedingung „Mit“ so konfiguriert, wie in Abschnitt 7.3 beschrieben. Der Proband war der einzige Verkehrsteilnehmer auf der rechten Spur, da es nicht um die Untersuchung von Nachfolgefahrten ging. Der Fremdverkehr auf der mittleren und linken Spur war so konfiguriert, dass der Proband von den Fremdfahrzeugen links überholt wurde. Die Frequenz des Überholens alle drei bis fünf Sekunden sorgte für einen stetigen, aber nicht zu dichten Fahrzeugstrom auf der mittleren bzw.

linken Spur. Bei der Bedingung „Ohne“ war der Proband, wie bei Experiment 1, der einzige Verkehrsteilnehmer.

Während für die Bearbeitung der kognitiven Aufgabe keine weiteren Geräte benötigt wurden, musste für die visuell-manuelle Aufgabe das CARIN - System in die Sitzkiste eingebaut werden (vgl. Abbildung 9.2). Für die Durchführung der Aufgabe war der rechte obere, umrandete Knopf entscheidend.

Abbildung 9.2 CARIN - System und Kassetten

Eine Standardkamera im Cockpit der Sitzkiste sowie ein Monitor an dem Versuchsleiterplatz ermöglichten ein störungsfreies Überwachen des Probanden. Die Instruktion des Probanden erfolgte mittels eines Standardmikrofons über Lautsprecher, die in der Sitzkiste verbaut waren.

Zur Bestimmung der demografischen Daten und des subjektiven Eindrucks bezüglich der einzelnen Fahrten wurden die Fragebögen B1 und B2a bzw. B2b eingesetzt (vgl. Anhang A.2). Ihre Inhalte entsprachen denen von Experiment 1 (vgl. Abschnitt 8.2.3).

9.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion

Der Versuch fand im Zeitraum vom 23.03.05 – 14.04.05 im Forschungs- und Innovationszentrum (FIZ) in München statt und wurde vollständig von der Autorin durchgeführt. Die Bedienkonsole der VL befand sich in demselben Raum wie der Fahrsimulator, war aber ca. 15 Meter entfernt. Sichtkontakt zwischen dem Probanden und der VL war aufgrund eines Molton-Vorhanges zur Abdunkelung des Fahrsimulators nicht gegeben. Eine Beeinflussung der Fahrleistung durch die Anwesenheit der VL kann somit ausgeschlossen werden.

Jeder Proband kam zu einer einstündigen Sitzung. Nach der Begrüßung füllte der Proband zunächst den demografischen Fragebogen B1 aus. Nach dem Einstellen des Sitzes wurde von der VL ausgemessen, ob der Proband die Einstellung so vorgenommen

hatte, dass seine Augenhöhe den softwareseitig vorgesehenen 1.2 Metern entsprach. Nach ggf. notwendigen Sitzanpassungen lernte der Proband die jeweilige statische Fahrsimulatorvariante in einer fünfminütigen Eingewöhnungsfahrt kennen. Während dieser Fahrt wurde der Proband aufgefordert, drei Spurwechsel vorzunehmen und die Geschwindigkeit zu variieren.

Nun wurde dem Probanden erläutert, dass er im Rahmen des Versuchs zwei unterschiedliche Aufgaben bearbeiten sollte. Für die visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ wurde der Proband in das CARIN - System eingewiesen. Ihm wurde der Zweck der leeren und der vollen Kassettenhülle auf dem Beifahrersitz erläutert. Dem Probanden wurde zuerst gezeigt, wie er die sich bereits im Kassettenschacht befindende „Kassette 1“ aus dem Kassettenschacht entnehmen, in ihre Hülle legen und die Hülle schließen sollte. Um das Kassettendeck zu öffnen, musste der Proband den umrandeten Knopf drücken (vgl. Abbildung 9.2). Das Schließen des Kassettendecks erfolgte nach einem kurzen Zeitintervall automatisch. Im Anschluss daran sollte der Proband „Kassette 2“ aus ihrer Hülle nehmen und mit der zweiten Seite nach oben in den Kassettenschacht einführen. Damit war die Aufgabe einmal vollständig bearbeitet. Für den nächsten Durchgang sollte dann entsprechend „Kassette 2“ entnommen und wieder „Kassette 1“ mit der ersten Seite nach oben in den Kassettenschacht eingeführt werden. Nachdem die VL die Aufgabe einmal vorgeführt hatte, bekam der Proband die Möglichkeit, die Aufgabe selbständig im Stand zu üben. Sobald der Proband angab, sich bezüglich der Aufgabenbearbeitung sicher zu fühlen, wurde er darauf hingewiesen, dass er die Aufgabe während des Versuchs jeweils zweimal unmittelbar hintereinander nach Aufforderung durch die VL bearbeiten sollte.

Nun wurde dem Probanden die kognitive Aufgabe erläutert. Er sollte, bei einer vorgegebenen Zahl beginnend, immer sieben subtrahieren und das jeweilige Ergebnis laut aussprechen. Dies sollte er so lange tun, bis die Aufgabe von der VL beendet wurde. Für den Fall, dass er die Null erreichen sollte, bevor die Aufgabe beendet worden war, sollte er die 7er Subtraktionen im negativen Zahlenbereich fortsetzten. Diese Aufgabe wurde im Vorfeld nicht geübt.

Sobald alle Fragen von Seiten des Probanden geklärt waren, wurde er für die vier zehnminütigen Versuchsfahrten folgendermaßen mündlich über das Mikrofon instruiert: *„Ich bin daran interessiert, herauszufinden, wie Fahrsimulator-Neulinge beim Fahren in einem Fahrsimulator zurechtkommen. Aus diesem Grund möchte ich Sie bitten, möglichst konzentriert mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h in der von mir vorgegebenen Spur zu fahren und die entsprechenden Aufgaben zu bearbeiten, sobald ich Sie dazu auffordere. Auch wenn keine Gefahr im Hinblick auf Unfälle besteht, möchte ich Sie bitten, so sorgfältig und konzentriert zu fahren, wie Sie es bei einer realen Autofahrt auch tun würden. Außerdem möchte ich Sie bitten, mir rechtzeitig Bescheid zu geben, falls Sie sich nicht mehr gut fühlen sollten.*

Zusätzlich wies die VL darauf hin, dass das Ziel nicht eine möglichst schnelle, sondern eine möglichst sorgfältige Aufgabenbearbeitung sei. Zudem wurde betont, dass es bei der Untersuchung nicht darum gehe, die Befähigung des Probanden zu bestimmen, sondern festgestellt werden sollte, wie einfach sich für Fahrsimulator-Neulinge die Aufgabenbearbeitung gestaltet.

Nun wurde der Proband gebeten, auf die Autobahn zu fahren und sich auf der rechten Fahrspur einzuordnen. Die Aufforderung zu der Bearbeitung einer Aufgabe erfolgte jeweils kurz vor der jeweiligen vorgesehenen Stelle mündlich über das Mikrofon. Generell wurde der Proband, sobald die Abweichung von der vorgegebenen Geschwindigkeit +/-15 km/h betrug, über Mikrofon darauf hingewiesen, die vorgegebene Geschwindigkeit einzuhalten. Der Proband begann nach der Aufforderung der VL immer mit der Aufgabe „Kassette“, welche zweimal unmittelbar hintereinander bearbeitet wurde. Nach einer kurzen Pause wurde ihm die erste Zahl genannt, von der er fortlaufend sieben subtrahieren sollte. Nach ca. zwei Minuten wurde diese Aufgabe von der VL beendet. Um zu schnellen Lerneffekten vorzubeugen und damit den Charakter der Aufgabe zu ändern, wurde zwischen den Zahlen 211 und 331 als Startzahl abgewechselt. Nach einer kurzen Pause kam noch einmal die Aufforderung, die Kassetten zweimal hintereinander zu wechseln. Den Abschluss der Fahrt bildete die Subtraktion von der jeweils anderen Zahl. Das Subtrahieren wurde wiederum von der VL nach ca. zwei Minuten beendet. Damit war die erste Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung beendet.

Es folgten noch eine weitere Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung sowie zwei Basisfahrten gemäß der jeweils zufällig zugewiesenen Abfolge. Im Anschluss an jede Einzelfahrt wurde der Fragebogen B2a bzw. B2b zum Fahrsimulator bzw. zu den bearbeiteten Aufgaben ausgefüllt. Den Abschluss des Versuchs bildete die Verabschiedung des Probanden.

9.3 Ergebnisse

9.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten

Vor der Aufbereitung der Fahrdaten wurde, analog zu Experiment 1, überprüft, ob im Rahmen des Fragebogens B2a bzw. B2b Angaben zu Übelkeit während der Versuchsfahrten gemacht worden waren. Jeder Proband, der diese Frage bejaht hatte, sollte von der Auswertung ausgeschlossen werden, da angenommen wurde, dass Übelkeit das Fahren beeinflusst. Dies war bei keinem Probanden der Fall.

Anhand der Frage zu den bisherigen Fahrten in Fahrsimulatoren im Rahmen des Fragebogens B1 konnte sichergestellt werden, dass alle Probanden mit denselben Vorkenntnissen an dem Versuch teilgenommen hatten. Übungsbedingte Unterschiede konnten somit als Störvariable ausgeschlossen werden.

Vor der eigentlichen statistischen Auswertung wurden die 132 Datendateien der 32 Probanden in einem ersten Schritt in MS Access importiert. Dort wurden die Daten zunächst auf etwaige Datenausfälle und Fehler bei der Datenaufzeichnung kontrolliert. Es wurden keine Datenausfälle festgestellt. Fehler bei der Datenaufzeichnung konnten anhand der Videomitschnitte korrigiert werden.

Als Grundlage für die weitere Auswertung erfolgte eine Streckenkürzung. Dazu wurden alle vier Fahrten beider Fahrsimulatorvarianten in jeweils vier Teilfahrten aufgeteilt. Diese vier Teilfahrten entsprachen den vier Streckenabschnitten, in denen eine sekundäre Aufgabe bearbeitet worden war bzw. deren Entsprechung bei den Basisfahrten. Mit Hilfe dieses Vorgehens sollten Fehler bei krümmungssensitiven Maßen, wie beispielsweise der „Standardabweichung des Lenkwinkels“ (SDST), umgangen werden.

Die Streckenabschnitte zwischen diesen vier Teilfahrten waren nur als kurze Erholungsphasen zwischen den einzelnen Aufgaben gedacht, weshalb sie für die Auswertung nicht weiter berücksichtigt wurden. Die Strecke für die kognitive Aufgabe entsprach exakt den beiden Teilstreckenabschnitten (siehe Abbildung 9.1), da die Probanden die Aufgabe jeweils so lange bearbeitet hatten, bis sie von der VL am Endpunkt des Streckenabschnittes gestoppt worden waren. Damit war die gefahrene Strecke für alle Probanden identisch und musste nur noch anhand der Streckenkilometer auf die Basisfahrten übertragen werden. Für die Aufgabe „Kassette“ zeigten sich über alle Probanden hinweg Unterschiede in der Bearbeitungslänge, weshalb sie auf eine einheitliche Länge gekürzt wurde. Die Pendants in den Basisfahrten wurden entsprechend angepasst.

Für die Auswertung wurden die beiden Streckenabschnitte mit derselben Aufgabe für jeden Probanden zusammengefasst. Diese insgesamt 264 Datenfiles bildeten die Grundlage für die statistische Auswertung. Aufgrund der augenfälligen Unterschiede zwischen den zusammengefassten Streckenabschnitten für die sekundäre visuell-manuelle bzw. die sekundäre kognitive Aufgabe, wurde von einem direkten Vergleich der beiden Aufgabentypen abgesehen. Es wurde lediglich ein Vergleich zwischen dem entsprechenden Basisfahrtabschnitt und dem Aufgabenabschnitt vorgenommen.

Auch bei diesem Experiment wurde kontrolliert, inwieweit die vorgegebene Geschwindigkeit von 120 km/h mit einem Toleranzbereich von +/- 15 km/h eingehalten worden war. Das Überwachen der Geschwindigkeit neben der Bearbeitung der jeweiligen sekundären Aufgabe wurde als wichtiger Bestandteil im Hinblick auf eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit angesehen. Es zeigte sich, dass ein Proband zu mehr als 10% den Toleranzbereich in den Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung über- bzw. unterschritten hatte und deshalb von der Auswertung ausgeschlossen werden musste. Die nächsten Schritte der Auswertung bezogen sich deshalb auf 256 Dateien von 32 Probanden.

Die elf Maße bzw. Berechnungsvarianten wurden für alle 256 Dateien, analog zu Experiment 1, berechnet. Die Berechnung der Maße SRR, HFC und TLC erfolgte über das Programm Matlab (Version 6.5.1). Die übrigen Maße wurden direkt in der Datenbank berechnet. Alle Ergebnisfiles wurden in SPSS (11.5) eingelesen. Anhand der resultierenden Datentabelle wurden alle statistischen Berechnungen vorgenommen. Die Maße SRR_2, $SRR_{0.4}$, TLC_{mean}, SDLP und SDST bildeten die Grundlage für die statistischen Berechnungen im Rahmen der Hypothesenprüfung. Für die Bestimmung der Sensitivität aller Maße der Endtabelle wurde Cohen’s d berechnet (vgl. Cohen, 1988).

Abschließend wurde überprüft, ob weitere Probanden aufgrund von zu vielen Ausreißerwerten von der Auswertung ausgeschlossen werden mussten. Als Ausreißer wurden auch hier die Werte verstanden, welche von den erstellten Boxplots als Ausreißer oder Extremwert deklariert wurden. Das Kriterium der Boxplots entsprach dabei dem mehr als 1.5fachen des Interquartilabstandes. Sobald über alle Bedingungen hinweg mehr als 20% der Maße Ausreißer darstellten, sollte der jeweilige Proband von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die Überprüfung ergab, dass keiner der Probanden dieses Kriterium erreichte. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich somit auf 16 Probanden pro Fahrsimulatorvariante.

9.3.2 Hypothesenüberprüfung

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde für alle vier Maße, getrennt für beide Aufgabentypen, eine dreifaktorielle Varianzanalyse gerechnet. Aufgrund einer möglichen Konfundierung mit der Schwierigkeit des Streckenverlaufs (vgl. Abschnitt 9.2.2) wurde von einer gemeinsamen Betrachtung der beiden FAHRT-Stufen „Task visuell-manuell“ und „Task kognitiv“ abgesehen. Die Faktoren FAHRT und FREMDVERKEHR gingen als vollständige Messwiederholungsfaktoren in die Auswertung ein. Der Faktor VARIANTE bildete den Zwischensubjektfaktor. Als Voraussetzung für die Anwendung eines solchen Berechnungsverfahrens gelten Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität. Gemäß Bortz (1993, S.303) spielen Verletzungen der ersten beiden Voraussetzungen keine Rolle, wenn die Stichprobenumfänge hinreichend groß und gleich sind. Bei der vorliegenden Untersuchung waren gleich große Zellumfänge gegeben. Die Anzahl von 16 Probanden wurde in einem vollständigen Messwiederholungsdesign als akzeptabler Stichprobenumfang eingestuft. Die bei Messwiederholung geforderte Sphärizität spielt bei zweifach gestuften Faktoren keine Rolle (Hussy & Jain, 2002). Es wurde davon ausgegangen, dass die Varianzanalyse nicht zu progressiven Entscheidungen führt, die auf Voraussetzungsverletzungen zurückzuführen sind. Für die Einzelvergleiche zur gezielten Hypothesenprüfung wurde das strenge Kriterium angewendet, nach welchem eine Hypothese erst dann als bestätigt angesehen werden kann, wenn alle Einzelvergleiche im Sinne der Hypothese signifikant werden (vgl. Abschnitt 8.3.2).

Für einen ersten Überblick werden jeweils Mittelwert und Standardfehler für die vier Maße, nach Bedingung und Fahrsimulatorvariante aufgeschlüsselt, dargestellt. Den ersten Teil der Auswertung zu jedem Maß bildet jeweils die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe, den zweiten Teil die sekundäre kognitive Aufgabe als „Task“. Die Daten beinhalten alle 16 Probanden inklusive ihrer Ausreißerwerte, da diese verbliebenen Ausreißer als individueller Fahrstil interpretiert wurden (vgl. Kapitel 8). Die Ergebnisse wurden bereits teilweise veröffentlicht (vgl. Knappe et al., 2007).

9.3.2.1 SDLP („Standardabweichung der lateralen Position“)

In Tabelle 9.4 sind Mittelwerte und Standardfehler für das Maß SDLP aufgeschlüsselt. „Task“ steht dabei für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe.

Tabelle 9.4 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	0.22 (0.02)	0.22 (0.01)	0.29 (0.02)	0.31 (0.02)	0.26 (0.01)
	„Projektion“	0.24 (0.01)	0.24 (0.02)	0.35 (0.02)	0.34 (0.02)	0.29 (0.01)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_1$	0.23 (0.01)	0.23 (0.01)	0.32 (0.02)	0.32 (0.01)	
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_2$	0.23 (0.01)		0.32 (0.01)		

Wie Tabelle 9.4 entnommen werden kann, fiel die SDLP für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell höher aus als für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr und ihre entsprechenden Fahrten „Mit“ Fremdverkehr zeigten tendenziell so gut wie keine Unterschiede hinsichtlich der mittleren SDLP. Die mittlere SDLP lag für die Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe über derjenigen einer Basisfahrt. Die Standardfehler bewegten sich insgesamt in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die Varianzanalyse für die „Task visuell-manuell“ ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, $F(1)=55.421$, $p\leq.01$. Der Haupteffekt für die Faktoren FREMDVERKEHR und VARIANTE sowie sämtliche Interaktionen fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.2).

Die sekundäre Aufgabenbearbeitung hatte somit einen Einfluss. Zur Überprüfung, bei welchen Bedingungen die signifikanten Unterschiede auftraten, wurden für beide Fahrsimulatorvarianten jeweils für beide Fremdverkehrsbedingungen einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. Unter der Bedingung „Ohne“ Fremdverkehr war für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ die SDLP unter der Bedingung „Task visuell-manuell“, im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, hochsignifikant höher, $t(15)=-3.539$, $p<.01$. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ bewirkte die Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe unter der Bedingung „Ohne“ Fremdverkehr ebenfalls eine hochsignifikante Erhöhung der SDLP im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, $t(15)=-4.809$, $p<.001$.

Für die Bedingung „Mit“ Fremdverkehr ergaben die einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben, dass die SDLP für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ unter der Bedingung „Task visuell-manuell“ im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höher war, $t(15)=-2.784$, $p<.01$. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“

bewirkte die Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe unter der Bedingung „Mit“ Fremdverkehr ebenfalls eine hochsignifikante Erhöhung der SDLP im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, t(15)=-4.468, p<.001.

Tabelle 9.5 zeigt die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern, getrennt nach Bedingung, für das Maß SDLP. „Task“ steht dabei für die sekundäre kognitive Aufgabe.

Tabelle 9.5 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	0.26 (0.01)	0.28 (0.02)	0.23 (0.02)	0.24 (0.01)	0.25 (0.01)
	„Projektion“	0.27 (0.01)	0.29 (0.02)	0.25 (0.01)	0.26 (0.01)	0.27 (0.01)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_1$	0.27 (0.01)	0.29 (0.01)	0.24 (0.01)	0.25 (0.01)	
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_2$	0.28 (0.01)		0.24 (0.01)		

Wie Tabelle 9.5 zeigt, fiel die mittlere SDLP für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell höher aus als für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr zeigten tendenziell eine höhere mittlere SDLP als entsprechende Fahrten „Mit“ Fremdverkehr. Die mittlere SDLP fiel für die Basisfahrt tendenziell höher aus als für die Fahrt mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung. Die Standardfehler bewegten sich in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die Varianzanalyse für die „Task kognitiv“ ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, F(1)=15.585, p≤.01. Der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE, der Haupteffekt für den Faktor FREMDVERKEHR sowie sämtliche Interaktionen waren nicht signifikant (siehe Anhang A.2).

Die Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe hatte damit einen Einfluss. Zur Überprüfung, bei welchen Bedingungen die signifikanten Unterschiede jeweils auftraten, wurden für beide Fahrsimulatorvarianten jeweils einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigten sich für die Fahrt mit Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe unter der Bedingung „Ohne“ Fremdverkehr hochsignifikant niedrigere SDLP-Werte im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, t(15)=2.885, p<.01. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zeigten sich ebenfalls signifikant niedrigere SDLP-Werte während der Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe unter der Bedingung „Ohne“ Fremdverkehr, t(15)=2.039, p<.05.

Zur Überprüfung, bei welchen Bedingungen „Mit“ Fremdverkehr signifikante Unterschiede auftraten, wurde für beide Fahrsimulatorvarianten jeweils ein einseitiger t-Test für abhängige Stichproben gerechnet. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigten sich

signifikant niedrigere SDLP-Werte für die Fahrt mit Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, $t(15)=1.989$, $p<.05$. Für die Variante „Projektion“ zeigten sich ebenfalls signifikant niedrigere SDLP-Werte während der Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe, $t(15)=1.864$, $p<.05$.

9.3.2.2 TLC_{mean} („Time to Line Crossing“)

Tabelle 9.6 enthält die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß TLC_{mean}, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Bedingungen. „Task“ steht dabei für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe.

Tabelle 9.6 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	3.93 (0.20)	4.03 (0.18)	2.46 (0.19)	2.65 (0.19)	3.27 (0.17)
	„Projektion“	3.34 (0.23)	3.53 (0.26)	2.16 (0.20)	2.17 (0.17)	2.80 (0.17)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_1$	3.64 (0.15)	3.78 (0.16)	2.31 (0.14)	2.41 (0.13)	
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_2$	3.71 (0.14)		2.36 (0.12)		

Wie Tabelle 9.6 entnommen werden kann, fiel die mittlere TLC_{mean} für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell niedriger aus als für die Variante „Plasma“. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr zeigten tendenziell höhere mittlere TLC_{mean}-Werte verglichen mit den dazugehörigen Fahrten „Mit“ Fremdverkehr. Die mittlere TLC_{mean} lag bei einer Fahrt mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung unter derjenigen einer Basisfahrt. Die Standardfehler bewegten sich in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die Varianzanalyse für die „Task visuell-manuell“ ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, $F(1)=185.670$, $p\leq.01$. Der Haupteffekt für die Faktoren FREMDVERKEHR und VARIANTE sowie sämtliche Interaktionen fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.2).

Die Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe hatte somit einen generellen Einfluss. Zur Überprüfung, welche Unterschiede signifikant ausfielen, wurden einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigten sich für die Fahrt mit sekundärer visuell-manueller Aufgabe unter der Bedingung „Ohne“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant niedrigere TLC_{mean}-Werte, $t(15)=7.579$, $p<.001$. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ fielen die TLC_{mean}-Werte unter der Bedingung „Task visuell-manuell“ unter der

Bedingung „Ohne“ Fremdverkehr ebenfalls hochsignifikant niedriger aus, t(15)=6.532, p<.001.

Für beide Fahrsimulatorvarianten wurde anhand einseitiger t-Tests für abhängige Stichproben überprüft, welche Unterschiede unter der Fremdverkehrsbedingung „Mit“ signifikant ausfielen. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigten sich für die Fahrt mit sekundärer visuell-manueller Aufgabe im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant niedrigere TLC_{mean}-Werte, t(15)=9.173, p<.001. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ fielen die TLC_{mean}-Werte unter der Bedingung „Task visuell-manuell“ ebenfalls hochsignifikant niedriger aus, t(15)=6.255, p<.001.

Tabelle 9.7 umfasst die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß TLC_{mean}. „Task“ steht für die sekundäre kognitive Aufgabe.

Tabelle 9.7 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	3.64 (0.18)	3.84 (0.18)	3.26 (0.17)	3.33 (0.17)	3.52 (0.16)
	„Projektion“	3.30 (0.17)	3.21 (0.20)	2.90 (0.21)	2.92 (0.17)	3.09 (0.16)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_1$	3.47 (0.12)	3.53 (0.14)	3.08 (0.14)	3.13 (0.12)	
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_2$	3.50 (0.12)		3.11 (0.12)		

Wie Tabelle 9.7 entnommen werden kann, war die TLC_{mean} für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell niedriger als für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr zeigten tendenziell höhere TLC_{mean}-Werte als Fahrten „Mit“ Fremdverkehr. Die mittlere TLC_{mean} für die Basisfahrt lag unter derjenigen für die Fahrt mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung. Die Standardfehler fielen in etwa vergleichbar aus.

Die Varianzanalyse für die „Task kognitiv“ ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, F(1)=29.481, p≤.01. Der Haupteffekt für den Faktor FREMDVERKEHR, der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE sowie sämtliche Interaktionen waren nicht signifikant (siehe Anhang A.2).

Die Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe hatte somit einen generellen Einfluss. Für beide Fahrsimulatorvarianten wurden einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet, um zu überprüfen, inwieweit die Unterschiede unter den Fremdverkehrsbedingungen „Mit“ bzw. „Ohne“ signifikant ausfielen. Der Vergleich der TLC_{mean}-Werte für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ ergab hochsignifikant niedrigere Werte für

die Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Ohne“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, t(15)=5.251, p<.001. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ fielen die TLC_{mean}-Werte bei der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Ohne“ Fremdverkehr, verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt, signifikant niedriger aus, t(15)=1.894, p<.05.

Der Vergleich der TLC_{mean}-Werte für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigte hochsignifikant niedrigere Werte für die Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Mit“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, t(15)=2.542, p≤.01. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ fielen die TLC_{mean}-Werte bei der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung unter der Bedingung „Mit“ Fremdverkehr ebenfalls hochsignifikant niedriger aus, t(15)=2.981, p<.01.

9.3.2.3 SDST („Standardabweichung des Lenkwinkels“)

In Tabelle 9.8 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SDST getrennt nach Bedingung dargestellt. „Task“ steht dabei für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe.

Tabelle 9.8 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	1.95 (0.04)	1.94 (0.03)	2.30 (0.12)	2.23 (0.09)	2.10 (0.06)
	„Projektion“	1.99 (0.05)	1.98 (0.04)	2.65 (0.15)	2.45 (0.14)	2.27 (0.06)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_1$	1.97 (0.03)	1.96 (0.03)	2.47 (0.09)	2.34 (0.08)	
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_2$	1.96 (0.02)		2.41 (0.08)		

Wie Tabelle 9.8 zeigt, fiel die SDST für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell höher aus als für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr zeigten tendenziell niedrigere SDST-Werte als Fahrten „Mit“ Fremdverkehr. Die mittlere SDST lag für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabenbearbeitung über derjenigen für die Basisfahrt. Die Standardfehler für die beiden Fahrsimulatorvarianten bewegten sich innerhalb einer Bedingung in etwa in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die Varianzanalyse für die „Task visuell-manuell“ ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, F(1)=41.005, p≤.01. Der Haupteffekt für die Faktoren FREMDVERKEHR und VARIANTE sowie sämtliche Interaktionen fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.2).

Die Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe hatte somit einen generellen Effekt. Zur Überprüfung, welche Unterschiede zu signifikanten Ergebnissen beigetragen hatten, wurden für beide Fahrsimulatorvarianten einseitige t-Tests für

abhängige Stichproben gerechnet. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ waren die SDST-Werte bei der Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe „Ohne“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höher, $t(15)=-3.859$, $p<.001$. Auch für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ fielen die SDST-Werte unter der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Ohne“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höher aus, $t(15)=-3.656$, $p<.001$.

Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ fielen die SDST-Werte bei der Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe „Mit“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höher aus, $t(15)=-3.379$, $p<.01$. Auch für die Variante „Projektion“ waren die SDST-Werte unter der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Mit“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höher, $t(15)=-4.826$, $p<.001$.

Tabelle 9.9 zeigt die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SDST, getrennt nach Bedingung. „Task“ steht dabei für die sekundäre kognitive Aufgabe.

Tabelle 9.9 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	3.07 (0.04)	3.03 (0.02)	3.04 (0.02)	3.03 (0.02)	3.04 (0.03)
	„Projektion“	3.08 (0.03)	3.02 (0.03)	3.09 (0.03)	3.07 (0.04)	3.06 (0.03)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_1$	3.07 (0.03)	3.03 (0.02)	3.06 (0.02)	3.05 (0.03)	
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_2$	3.05 (0.02)		3.06 (0.02)		

Wie Tabelle 9.9 entnommen werden kann, fiel die SDST für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell höher aus als für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr zeigten tendenziell niedrigere mittlere SDST-Werte verglichen mit entsprechenden Fahrten „Mit“ Fremdverkehr. Die mittlere SDST für die sekundäre kognitive Aufgabe lag tendenziell über derjenigen für die Basisfahrt. Die Standardfehler waren in etwa vergleichbar.

Die Varianzanalyse für die „Task kognitiv“ ergab für keinen der drei Faktoren einen signifikanten Haupteffekt. Keine Interaktion fiel signifikant aus (siehe Anhang A.2).

9.3.2.4 SRR („Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute)

In Tabelle 9.10 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SRR2, getrennt nach Bedingung, dargestellt. „Task“ steht dabei für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe.

Tabelle 9.10 Maß SRR (Gap 2): Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: visuell-manuell

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittel-werte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	4.40 (1.34)	3.16 (0.48)	15.46 (2.34)	14.66 (2.06)	9.42 (1.37)
	„Projektion“	9.64 (1.99)	7.39 (1.45)	22.51 (2.27)	19.14 (1.87)	14.67 (1.37)
	Spaltenmittel-werte $\bar{y}_1$	7.02 (1.20)	5.27 (0.77)	18.99 (1.63)	16.90 (1.39)	
	Spaltenmittel-werte $\bar{y}_2$	6.15 (0.86)		17.94 (1.40)		

Wie Tabelle 9.10 zeigt, fiel die SRR2 für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ höher aus als für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr zeigten tendenziell niedrigere mittlere SRR2-Werte verglichen mit den entsprechenden Fahrten „Mit“ Fremdverkehr. Die mittlere SRR2 lag für Fahrten mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung über derjenigen für Basisfahrten. Die Standardfehler für die beiden Fahrsimulatorvarianten wiesen innerhalb der einzelnen Bedingungen teilweise größere Unterschiede auf.

Die Varianzanalyse für die „Task visuell-manuell“ ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor VARIANTE, $F(1)=7.308$, $p\leq.01$. Der Haupteffekt für den Faktor FREMDVERKEHR fiel signifikant aus, $F(1)=6.696$, $p\leq.05$. Der Haupteffekt für den Faktor FAHRT war hochsignifikant, $F(1)=86.564$, $p\leq.01$. Sämtliche Interaktionen zeigten kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.2).

Zur Überprüfung, zwischen welchen Bedingungen die Unterschiede signifikant ausgefallen waren, wurden vier einseitige t-Tests für unabhängige Stichproben gerechnet. Unter der Bedingung „Basisfahrt Ohne Fremdverkehr“ fiel das Maß SRR2 für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“, verglichen mit der Fahrsimulatorvariante „Plasma“, hochsignifikant höher aus, $t(30)=-2.765$, $p<.01$. Unter der Bedingung „Basisfahrt Mit Fremdverkehr“ war das Maß SRR2 für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“, verglichen mit der Fahrsimulatorvariante „Plasma“, signifikant höher, $t(30)=-2.189$, $p<.05$.

Unter der Bedingung „Task Ohne Fremdverkehr“ fiel das Maß SRR2 für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ knapp nicht signifikant höher als für die Variante „Plasma“ ($t(30)=-1.610$, n.s.). Unter der Bedingung „Task Mit Fremdverkehr“ war das Maß SRR2 für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“, verglichen mit der Variante „Plasma“, signifikant höher, $t(30)=-2.163$, $p<.05$.

Zur Beantwortung der Frage, welche der Unterschiede signifikant ausfielen, wurden vier einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. Für die Variante „Plasma“ zeigten sich hochsignifikant höhere SRR_2-Werte für die Fahrt „Task Ohne Fremdverkehr“ im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, $t(15)=-6.209$, $p<.001$. Es fanden sich ebenfalls hochsignifikant höhere SRR_2-Werte für die Fahrt „Task Mit Fremdverkehr“ im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt, $t(15)=-5.475$, $p<.001$. Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zeigten sich unter der Bedingung „Task Ohne Fremdverkehr“ verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höhere SRR_2-Werte, $t(15)=-5.867$, $p<.001$. Für die Fahrt „Task Mit Fremdverkehr“ fanden sich für diese Fahrsimulatorvariante ebenfalls hochsignifikant höhere SRR_2-Werte verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt, $t(15)=-4.952$, $p<.001$.

Anhand von einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben wurde überprüft, unter welchen Bedingungen das Vorhandensein von Fremdverkehr einen signifikanten Einfluss hatte. Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ hatte das Vorhandensein von Fremdverkehr bei einer Basisfahrt keinen signifikanten Einfluss ($t(15)=1.105$, n.s.). Auch für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ wirkte sich das Vorhandensein von Fremdverkehr bei einer Basisfahrt nicht im Sinne einer signifikanten Erhöhung der SRR_2-Werte aus ($t(15)=1.279$, n.s.). Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ bewirkte das Vorhandensein von Fremdverkehr bei der Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe keine signifikante Erhöhung der SRR_2-Werte ($t(15)=0.418$, n.s.). Das Vorhandensein von Fremdverkehr führte bei der Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe bei der Variante „Projektion“ zu hochsignifikant höheren SRR_2-Werten, $t(15)=2.563$, $p<.01$.

Tabelle 9.11 zeigt die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern, getrennt nach Bedingung, für das Maß $SRR_{0.4}$. „Task“ steht dabei für die sekundäre kognitive Aufgabe.

Tabelle 9.11 Maß SRR (Gap 0.4): Mittelwerte und Standardfehler – „Task“: kognitiv

		FAHRT				
		„Basis“		„Task“		
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**		
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
VARIANTE	„Plasma“	27.74 (1.68)	24.07 (1.75)	35.90 (2.76)	32.56 (2.59)	30.07 (1.95)
	„Projektion“	28.86 (1.88)	26.51 (1.82)	34.65 (2.46)	33.20 (2.11)	30.80 (1.95)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_1$	28.30 (1.26)	25.29 (1.26)	35.27 (1.85)	32.88 (1.67)	
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}_2$	26.79 (1.16)		34.08 (1.68)		

Wie Tabelle 9.11 entnommen werden kann, fiel die $SRR_{0.4}$ für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell höher aus als für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Die mittlere $SRR_{0.4}$ lag für die Fahrten mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung über denjenigen für die Basisfahrten. Fahrten „Ohne“ Fremdverkehr zeigten tendenziell

niedrigere $SRR_{0.4}$-Werte als die entsprechenden Fahrten „Mit“ Fremdverkehr. Die Standardfehler für die beiden Fahrsimulatorvarianten bewegten sich innerhalb einer Bedingung in einem vergleichbaren Rahmen.

Die Varianzanalyse für die „Task kognitiv“ ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FREMDVERKEHR [$F(1)=16.383$, $p\leq.01$] und den Faktor FAHRT [$F(1)=66.443$, $p\leq.01$]. Der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE sowie sämtliche Interaktionen waren nicht signifikant (siehe Anhang A.2).

Zur Überprüfung, welche Unterschiede signifikant ausfielen, wurden für beide Fahrsimulatorvarianten jeweils einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. Für die Variante „Plasma“ zeigten sich für die Fahrt „Task Ohne Fremdverkehr“ im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höhere $SRR_{0.4}$-Werte, $t(15)=-5.021$, $p<.001$. Für die Fahrt „Task Mit Fremdverkehr“ fiel die $SRR_{0.4}$ im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höher aus, $t(15)=-4.093$, $p<.001$.

Auch für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ führte die Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe „Ohne“ Fremdverkehr im Vergleich zu der dazugehörigen Basisfahrt zu hochsignifikant höheren $SRR_{0.4}$-Werten, $t(15)=-4.649$, $p<.001$. Für die Fahrt „Task Mit Fremdverkehr“ fiel die $SRR_{0.4}$ verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt hochsignifikant höher aus, $t(15)=-4.054$, $p<.001$.

Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigten sich unter der Bedingung „Basisfahrt Mit Fremdverkehr“ im Vergleich zu der Bedingung „Basisfahrt Ohne Fremdverkehr“ hochsignifikant höhere $SRR_{0.4}$-Werte, $t(15)=2.705$, $p<.01$. Für die Variante „Projektion“ fielen die $SRR_{0.4}$-Werte unter der Bedingung „Basisfahrt Mit Fremdverkehr“ im Vergleich zu der Bedingung „Basisfahrt Ohne Fremdverkehr“ knapp nicht signifikant höher aus ($t(15)=1.691$, n.s.).

9.3.2.5 Zusammenfassung der varianzanalytischen Auswertung

Bevor alle betrachteten Maße qualitativ analysiert werden, sollen zunächst die varianzanalytischen Befunde zusammengefasst werden. Begonnen werden soll hierbei mit dem visuell-manuellen Streckenabschnitt. Für alle vier Maße fiel der Faktor FAHRT hochsignifikant aus. Weiterführende Analysen ergaben bei beiden Fahrsimulatorvarianten für beide Spurmaße die instabilere Querregelung während der Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe. Dies galt sowohl für die Fahrt „Mit“ Fremdverkehr verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt als auch für die Fahrt „Ohne“ Fremdverkehr verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt. Hinsichtlich der beiden Lenkmaße zeigte sich bei beiden Fahrsimulatorvarianten eine hochsignifikante Zunahme der Lenkaktivität durch die Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe, wiederum sowohl für die Fahrt „Mit“ Fremdverkehr verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt als auch für die Fahrt „Ohne“ Fremdverkehr verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt.

Darüber hinaus zeigte sich für den visuell-manuellen Streckenabschnitt lediglich für das Maß SRR_2 ein signifikantes bzw. hochsignifikantes Ergebnis für die beiden Faktoren VARIANTE und FREMDVERKEHR. Für den Faktor VARIANTE ergab die weiterführende Analyse, dass bei dem Vergleich der beiden Fahrsimulatorvarianten für die Fahrten „Basis Ohne Fremdverkehr“, „Basis Mit Fremdverkehr“ und „Task Mit Fremdverkehr“ jeweils die

signifikant bzw. hochsignifikant höhere Lenkaktivität für die Variante „Projektion“ gegeben war. Lediglich für die Fahrt „Task Ohne Fremdverkehr“ wurde kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Lenkaktivität zwischen den beiden Varianten gefunden. Die weitere Analyse für den signifikanten Faktor FREMDVERKEHR ergab nur für die Variante „Projektion“ bei dem Vergleich der Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung eine hochsignifikant höhere Lenkaktivität bei Vorhandensein von Fremdverkehr.

Für den kognitiven Streckenabschnitt wurde für fast alle Maße, mit Ausnahme der SDST, ein hochsignifikanter Faktor FAHRT gefunden. Die weiterführende Analyse zeigte für das Maß SDLP bei beiden Fahrsimulatorvarianten die hochsignifikant bzw. signifikant stabilere Querregelung während der Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe, sowohl bei einem Vergleich der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung mit der Basisfahrt jeweils „Mit“ Fremdverkehr als auch bei dem Vergleich der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung mit der Basisfahrt jeweils „Ohne“ Fremdverkehr. Für das Maß TLC_{mean} lieferte die weiterführende Analyse bei beiden Fahrsimulatorvarianten die jeweils instabilere Querregelung bei der Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe, sowohl bei einem Vergleich der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung mit der Basisfahrt mit Fremdverkehr als auch bei dem Vergleich der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung mit der Basisfahrt „Ohne“ Fremdverkehr. Das Lenkmaß $SRR_{0.4}$ bildete bei beiden Varianten die instabilere Querregelung bei der Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe ab. Dies galt für den Vergleich der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung und der Basisfahrt „Mit“ Fremdverkehr ebenso wie für den Vergleich der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung und der Basisfahrt „Ohne“ Fremdverkehr. Für das Maß $SRR_{0.4}$ wurde zusätzlich noch ein hochsignifikanter Faktor FREMD-VERKEHR gefunden. Hier ergaben die weiterführenden Berechnungen, dass nur für die Variante „Plasma“ Fremdverkehr bei einer Basisfahrt zu einer instabileren Querregelung führte.

9.3.3 Subjektive Bewertung

Die Versuchsfahrten wurden von den Probanden mit Hilfe des Fragebogens B2a bzw. B2b (siehe Anhang A.2) im Anschluss an jede Fahrt eingeschätzt. Die Beurteilung erfolgte anhand einer fünfstufigen Skala. Für die Überprüfung der Hypothesen wurde die Beantwortung der Frage herangezogen, wie schwierig es war, unter der jeweiligen Bedingung in der vorgegebenen Spur zu fahren. Die sekundäre kognitive Aufgabe und die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe gingen dabei gemeinsam in die Bewertung ein. Eine „1“ bedeutete „sehr einfach“, eine „5“ „sehr schwierig“. Die übrigen Daten wurden ergänzend erhoben, aber nicht weiterführend ausgewertet. In Tabelle 9.12 sind Mittelwerte und Standardfehler für die Beantwortung dieser Frage aufgeführt.

Tabelle 9.12 Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren: Mittelwerte und Standardfehler – „Task“ beinhaltet beide sekundären Aufgaben

		FAHRT			
		„Basis“		„Task“	
		FREMDVERKEHR		**FREMDVERKEHR**	
		„Mit“	„Ohne“	„Mit“	„Ohne“
VARIANTE	„Plasma“	2.56 (0.26)	2.19 (0.16)	2.19 (0.23)	2.31 (0.27)
	„Projektion“	2.06 (0.21)	2.06 (0.19)	2.56 (0.18)	2.75 (0.23)

Wie Tabelle 9.12 entnommen werden kann, lag die mittlere Schwierigkeitsbeurteilung für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ bei einer Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung, unabhängig von dem Fehlen bzw. Vorhandensein von Fremdverkehr, über derjenigen der zugehörigen Basisfahrt. Für die Variante „Plasma“ galt dies für die Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Ohne“ Fremdverkehr verglichen mit der dazugehörigen Basisfahrt. Für die beiden Fahrten „Mit“ Fremdverkehr verhielt es sich bei der Variante „Plasma“ genau anders herum. Die Standardfehler fielen eher heterogen aus.

Zur Überprüfung, inwieweit die beschriebenen Unterschiede auch einer entsprechenden Signifikanzprüfung Stand halten, wurden für beide Fahrsimulatorvarianten einseitige Tests gerechnet. Von t-Tests wurde abgesehen, da unklar war, inwieweit die Abstände zwischen den einzelnen Antwortstufen von allen Probanden als äquidistant wahrgenommen worden waren (vgl. Experiment 1). Zunächst soll auf die Ergebnisse der Beurteilung für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ eingegangen werden.

Für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zeigte ein einseitiger Wilcoxon Test, dass das Fahren in der vorgegebenen Spur unter der Bedingung „Basisfahrt Ohne Fremdverkehr“ im Vergleich zu der Bedingung „sekundäre Aufgabenbearbeitung Ohne Fremdverkehr“ als signifikant einfacher eingestuft wurde ($Z=-1.903$, $p<.05$). Der einseitige Wilcoxon Test ergab, dass das Fahren in der vorgegebenen Spur unter der Bedingung „Basisfahrt Mit Fremdverkehr“ im Vergleich zu der Bedingung „sekundäre Aufgabenbearbeitung Mit Fremdverkehr“ als signifikant einfacher eingestuft wurde ($Z=-1.780$, $p<.05$).

Für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigte ein einseitiger Wilcoxon Test, dass das Fahren in der vorgegebenen Spur unter der Bedingung „Basisfahrt Ohne Fremdverkehr“ im Vergleich zu der Bedingung „sekundäre Aufgabenbearbeitung Ohne Fremdverkehr“ nicht als signifikant einfacher eingestuft wurde ($Z=-0.318$, n.s.). Ein weiterer einseitiger Wilcoxon Test ergab, dass das Fahren in der vorgegebenen Spur unter der Bedingung „Basisfahrt Mit Fremdverkehr“ im Vergleich zu der Bedingung „sekundäre Aufgabenbearbeitung Mit Fremdverkehr“ ebenfalls nicht als signifikant einfacher eingestuft wurde ($Z=-1.294$, n.s.).

9.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Wie bereits in Experiment 1 wurden auch hier die Effektstärken für die qualitative Effektstärkenbetrachtung berechnet[1] (vgl. Kapitel 7). In Abbildung 9.3 sind die Effektstärken zur besseren Beurteilung von Sensitivität und Vergleichbarkeit zusammengefasst (vgl. Experiment 1). Die Erläuterung der verwendeten Symbolik in Abbildung 9.3 kann Abschnitt 8.3.4 entnommen werden.

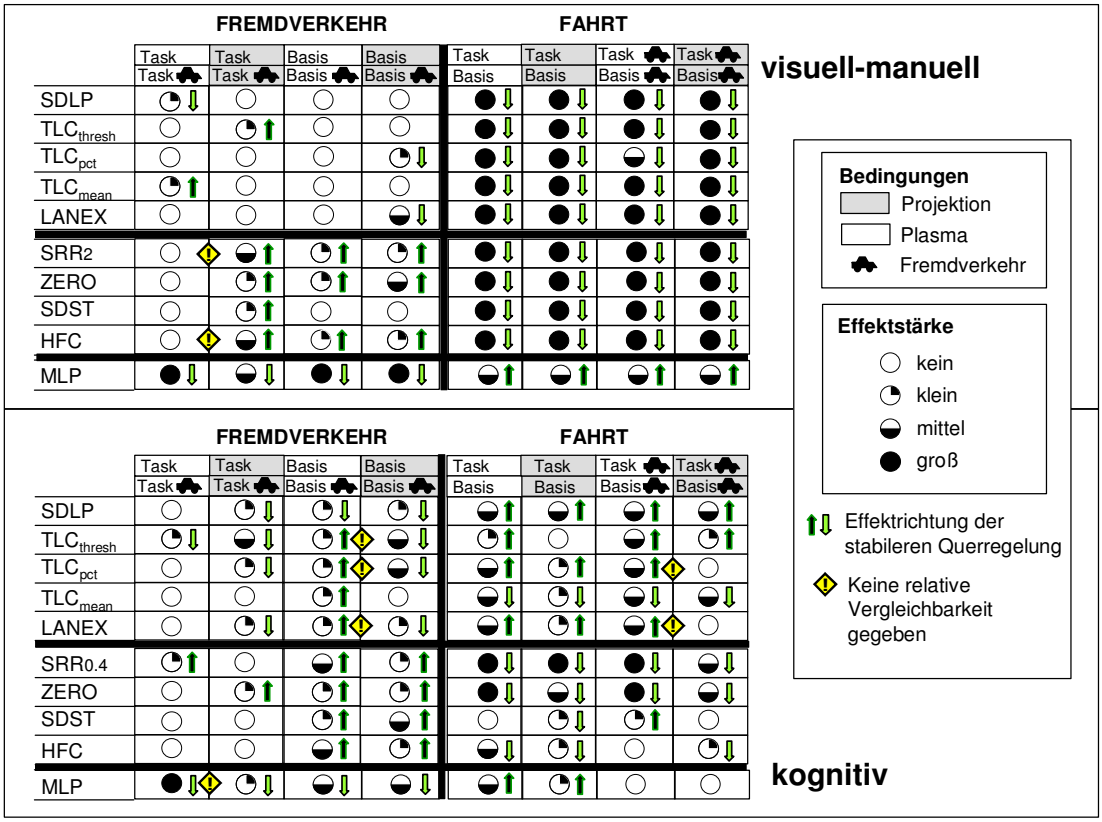

Abbildung 9.3 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit.

In Abbildung 9.3 sind die Bedingungen Fremdverkehr und Aufgabenbearbeitung für alle Lenk- und Spurmaße, sowie das Maß MLP, jeweils getrennt nach sekundärer kognitiver und sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung aufgeführt.

Der Einfluss des Fremdverkehrs auf Effektstärkenniveau ist über die Lenk- und Spurmaße und Bedingungen hinweg als eher gering einzuschätzen. Es überwogen keine und kleine Effekte. Tendenziell gab es mehr kleine und mittlere Effekte bei der Betrachtung des Fremdverkehrs für die sekundäre kognitive Aufgabe. Hier traten 18 kleine und sechs mittlere Effekte auf. Bei der sekundären visuell-manuellen Aufgabenbearbeitung waren es dagegen 11 kleine und vier mittlere Effekte. Die mittleren Effekte, die für eine Sensitivität sprechen, verteilten sich über mehrere Bedingungen. Mit Ausnahme der SDLP

[1] Die für die Effektstärkenberechnung verwendeten Mittelwerte und Standardfehler der sechs zusätzlichen Maße können Anhang A entnommen werden

und der TLC_{mean} wiesen alle Maße zumindest einmal einen mittleren Effekt auf. Der Einfluss des Fremdverkehrs auf die MLP fiel dagegen deutlicher aus. Hier führte das Vorhandensein von Fremdverkehr, bis auf eine Bedingung, zu mittleren und großen Effekten mit identischen Effektrichtungen. Bei Vorhandensein von Fremdverkehr erfolgte eine stärkere Ausrichtung zur rechten Spurmarkierung hin.

Der Einfluss der Aufgabenbearbeitung auf die Spur- und Lenkmaße fiel im Falle der sekundären Aufgabenbearbeitung „Kassette“ mit fast ausnahmslos großen Effekten und identischen Effektrichtungen deutlich aus. Alle betrachteten Spur- und Lenkmaße konnten daher als gleichermaßen sensitiv für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabenbearbeitung angesehen werden. Der Einfluss der sekundären visuell-manuellen Aufgabenbearbeitung auf die MLP war mit durchgängig mittleren Effekten nicht ganz so deutlich ausgeprägt. Aber auch hier richteten sich die Probanden bei Bearbeitung der sekundären Aufgabe eher an der rechten Spurmarkierung aus.

Bei der sekundären kognitiven Aufgabenbearbeitung war der Einfluss nicht eindeutig. Bei den Spurmaßen zeigten alle Maße, bis auf die TLC_{mean}, bei Vorliegen eines Effekts unter allen Bedingungen eine Stabilisierung bei Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe. Unter diesen Effekten fand sich allerdings kein großer Effekt. Die Lenkmaße hingegen verhielten sich, so ein Effekt vorhanden war, wie die TLC_{mean} und zeigten in kleinen bis großen Effekten, bis auf eine Ausnahme mit einem kleinen Effekt, die stabilere Fahrzeugführung bei der Basisfahrt. Die Sensitivität musste aufgrund der stark unterschiedlichen Effektstärken und der Effektrichtungswechsel als sehr heterogen eingestuft werden. Die MLP zeigte ohne Vorliegen von Fremdverkehr eine Ausrichtung an der rechten Spurmarkierung mit jeweils einem mittleren und einem kleinen Effekt für beide Fahrsimulatorvarianten. Interessanterweise führte dieselbe Bedingung bei Vorliegen von Fremdverkehr zu keinem Effekt.

Die relative Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten nach den unter Abschnitt 7.4.2 festgesetzten Kriterien ist als gut einzuschätzen. Einschließlich des Maßes MLP war lediglich bei acht der 80 einzelnen Bedingungen keine relative Vergleichbarkeit gegeben. Betroffen waren hier die Maße HFC, SRR_2, TLC_{thresh}, TLC_{pct}, LANEX und MLP.

Für die Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten wurden die Effektstärken, wie bei Experiment 1, gruppiert. Diese Gruppierung ist in Abbildung 9.4 dargestellt.

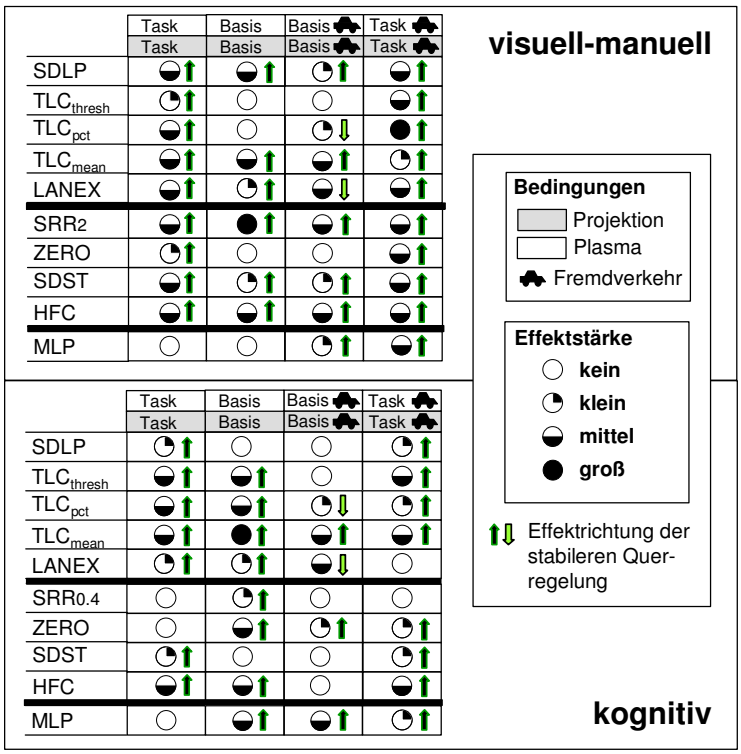

Abbildung 9.4 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit.

Auch bei Experiment 2 musste die absolute Vergleichbarkeit, ähnlich wie bei Experiment 1, als eher gering eingestuft werden. In genau der Hälfte der 80 Bedingungen, inklusive der MLP, trat ein mittlerer oder großer Effekt bei dem direkten Vergleich der eingesetzten Varianten auf. Diese Effekte waren unsystematisch über alle Bedingungen und Maßen verteilt.

Bei der Betrachtung der Effektrichtung war, bis auf vier Ausnahmen, ein Trend für die stabilere Querregelung bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ feststellbar. Bei den vier Ausnahmen handelte es sich um die Maße TLC_{pct} und LANEX unter der Bedingung „Basisfahrt Mit Fremdverkehr“. Sowohl bei dem „visuell-manuellen“ als auch bei dem „kognitiven“ Streckenabschnitt war von der Effektrichtung her bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ die stabilere Querregelung gegeben.

Der Vergleich der Sensitivität der Lenkmaße SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ und ZERO ergab für beide Maße durchgängig gleichsinnige Effektrichtungen, wobei sich die Effektstärken nicht um mehr als eine Effektstärkenstufe unterschieden. Der Vergleich der TLC-Berechnungsvarianten lieferte, vor allem für den „kognitiven“ Streckenabschnitt, ein eher heterogenes Bild mit Effektrichtungswechseln und Unterschieden um mehr als zwei Effektstärkenstufen. Für den „visuell-manuellen“ Streckenabschnitt wiesen die drei Berechnungsvarianten gleichsinnige Effektrichtungen auf und unterschieden sich nicht um mehr als eine Effektstärkenstufe.

9.4 Diskussion

Im Rahmen von Experiment 2 wurde untersucht, wie sich die statischen Fahrsimulatorvarianten („Plasma“ vs. „Projektion“), eine sekundäre visuell-manuelle und eine sekundäre kognitive Aufgabe im Vergleich zu einer Basisfahrt sowie der Einfluss des Fremdverkehrs („Mit“ vs. „Ohne“) auf die Querregelung auswirken. Die beiden Faktoren FREMDVERKEHR und FAHRT waren „within“ realisiert, der Faktor VARIANTE „between“. Darüber hinaus wurde untersucht, ob die vier ausgewählten Maße den Einfluss der betrachteten Faktoren gleichermaßen abbildeten. Weiterhin war von Interesse, welche Untermenge an Maßen am sensitivsten für den Einfluss der jeweiligen Faktoren war und inwieweit zwischen den beiden Varianten relative und absolute Vergleichbarkeit gegeben war.

Diese Fragen wurden mit Hilfe der beiden statischen Fahrsimulatorvarianten der BMW Group untersucht. Für beide Fahrsimulatorvarianten wurde in diesem Experiment dieselbe Sitzkiste eingesetzt. Der für die Untersuchung konfigurierte Fremdverkehr konnte variabel dazu- bzw. weggeschaltet werden. Entsprechende Einbauten in der Sitzkiste ermöglichten die Bearbeitung der beiden sekundären Aufgaben während der Fahrt. Die Fahrten ohne sekundäre Aufgabenbearbeitung stellten jeweils die Basisfahrt dar. Sowohl für die Basisfahrten als auch die Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung gab es eine Fahrt „Mit“ und eine Fahrt „Ohne“ Fremdverkehr. Damit für alle Probanden eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit gegeben war, nahmen nur Probanden an der Untersuchung teil, die bislang noch nie in einem Simulator gefahren waren. Den Probanden wurde eine Sollgeschwindigkeit von 120 km/h für alle Fahrten vorgegeben und sie sollten wie unter realen Bedingungen fahren.

Die signifikanztechnische Auswertung für die Hypothesenprüfung stützte sich dabei nicht auf alle untersuchten Maße, sondern begnügte sich mit einer Auswahl an „klassischen“ bzw. bewährten Maßen (vgl. Experiment 1). Die folgenden Ausführungen gliedern sich nach den Hypothesen.

Der einzige Faktor, der für alle untersuchten Maße, also für SDLP, TLC_{mean}, SRR_2 und SDST signifikant wurde, war der Faktor FAHRT für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“. Damit konnte **Hypothese 1a**, nämlich dass diese Art von sekundärer Aufgabenbearbeitung zu instabilerer Querregelung führt, als einzige für alle untersuchten Maße bestätigt werden. Dieses Ergebnis überraschte nicht, da aus der Literatur bekannt war, dass sekundäre visuell-manuelle Aufgaben die primäre Fahraufgabe stark beeinflussen.

Hypothese 1b, welche besagt, dass die Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe „Rechnen“ zu einer Stabilisierung in der Querregelung führen sollte, konnte für das Maß SDLP bestätigt werden. Die Maße TLC_{mean}, und $SRR_{0.4}$ zeigten hingegen eine stabilere Querregelung für die Basisfahrt an. Für die SDST zeigte sich überhaupt kein signifikanter Haupteffekt. Für das Maß SDLP konnte also der Befund von Engström et al. (2005) bestätigt werden. Erstaunlich war aber die Tatsache, dass bei größer werdenden SDLP-Werten die TLC_{mean}-Werte ebenfalls größer wurden. Größere TLC_{mean}-Werte deuten auf einen kleineren Sicherheitskorridor hin und wurden vor Beginn der Experimente als stabilere Querregelung festgelegt (vgl. Abschnitt 5.3). Gleichzeitig

deuteten die höheren SDLP-Werte größere Schwankungen in der Spurposition an. Zur Deutung dieser Unstimmigkeit muss der Gedanke des Sicherheitskorridors revidiert werden. Vor dem Hintergrund dieses Ergebnisses und unter Einbeziehung der $SRR_{0.4}$-Werte, die für die Basisfahrt eine erhöhte Lenkaktivität zeigten, sorgte wahrscheinlich die erhöhte Lenkaktivität für die niedrigen und damit instabileren TLC_{mean}-Werte bei der Basisfahrt. Häufigere und eventuell abruptere Lenkbewegungen sorgten für eine extremere Ausrichtung der Fahrzeugachse zur Spurbegrenzung hin und damit auch eher für kleinere TLC_{mean}-Werte, während kleinere, sanftere Lenkbewegungen das Gegenteil bewirkt haben könnten. Eventuell sorgte bei der kognitiven Aufgabe die eintretende Tunnelsicht (vgl. Murata, 2004 oder Crundall et al., 1999) dafür, dass die Variabilität der Spurposition insgesamt abnahm, dies aber durch erhöhte und abruptere Lenkbewegungen erreicht wurde.

Die bereits in Experiment 1 geäußerte Hypothese, dass die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ eine stabilere Querregelung während einer Basisfahrt zeigt (hier **Hypothese 2a**), musste für Experiment 2 verworfen werden. Für die SDLP, bei der sich in Experiment 1 für die Standardsicht eine signifikante Stabilisierung bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zeigte, gab es in diesem Experiment kein signifikantes Ergebnis. Mit den Maßen TLC_{mean} und SDST verhielt es sich ebenso. Bei der SRR_2 hingegen lieferte der „visuell-manuelle“ Streckenabschnitt, entgegen der Hypothese, ein signifikantes Ergebnis zugunsten der Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Dies kann als Hinweis darauf gesehen werden, dass der fehlerhaft eingestellte Lenkwiderstand bei Experiment 1 Fahrten in der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ so stark beeinträchtigte, dass dort für die SDLP ein signifikant stabileres Ergebnis und bei der SRR_2 überhaupt kein Effekt auftrat. Bei dem vorliegenden Experiment schienen sich die Ergebnisse zugunsten der Variante „Plasma“ „verschoben“ zu haben. Die SDLP zeigte nun kein signifikantes Ergebnis mehr, die SRR_2, die in Experiment 1 keinen Effekt zeigte, lieferte nun ein signifikantes Ergebnis.

Die **Hypothese 2b**, dass die Querregelung während Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ bei der Variante „Plasma“ stabiler ausfällt als bei der Variante „Projektion“, musste für die Mehrzahl der Maße verworfen werden. Bei diesen fehlte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor VARIANTE. Die SRR_2 zeigte hingegen eine hypothesenkonforme signifikant stabilere Querregelung. Diese Signifikanz trat jedoch nur für die Bedingung „Task Mit Fremdverkehr“ auf und nicht, wenn auch nur knapp, für die Bedingung „Task Ohne Fremdverkehr“. Die Hypothese 2b muss deshalb insgesamt als widerlegt angesehen werden.

Die Ergebnisse zu Hypothese 2a und 2b wiesen zumindest für die SRR_2 darauf hin, dass das Fahren mit der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ eine stabilere Querregelung hervorruft. Die Annahme aus Experiment 1, dass ein breiteres Sichtfeld und der durch die Motorhaube hervorgerufene Bezug bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ vorteilhafter sein sollte, hatte sich in Experiment 2 nicht bestätigt. Deshalb wurde vermutet, dass hier die bessere Auflösung, die durch die Bildschirmrahmen verursachten Querbalken oder das Zusammenspiel von beidem eine stabilisierende Wirkung hatte.

Die **Hypothese 3a**, dass das Vorhandensein von Fremdverkehr während einer Basisfahrt zu einer instabileren Querregelung führen sollte, musste insgesamt als widerlegt angesehen werden. Der Faktor FREMDVERKEHR wurde lediglich für das

Lenkmaß $SRR_{0.4}$ signifikant. Nachfolgende Einzelvergleiche zeigten, dass nur bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ für den kognitiven Streckenabschnitt ein signifikanter Unterschied vorlag. Die **Hypothese 3b**: dass das Vorhandensein von Fremdverkehr während einer sekundären visuell-manuellen Aufgabenbearbeitung zu instabilerer Querregelung führen sollte, zeigte sich nach Haupteffekt und Einzelvergleichen ebenfalls nur für das Lenkmaß SRR_2, in diesem Fall allerdings für die Variante „Projektion“. Die Überprüfung von **Hypothese 3c**, die bei der Bearbeitung einer kognitiven Aufgabe keinen Einfluss des Fremdverkehrs vermutete, ergab tatsächlich keine signifikanten Ergebnisse. Trotz des unsystematischen Auftauchens der beiden signifikanten Effekte für die $SRR_{0.4}$ wurde die Hypothese als bestätigt angesehen. Es sieht so aus, als ob sich der Fahrer, anders als bei einem Einzelfahrzeug (vgl. Chatziastros, 2003), sehr schnell an kontinuierlich vorbeiziehende Fremdfahrzeuge gewöhnt, so dass diese keinen Einfluss auf die Querregelung haben.

Hypothese 4, welche beinhaltete, dass Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung, unabhängig von Fahrsimulatorvariante und Fremdverkehr, im Vergleich zu Basisfahrten subjektiv als schwieriger beurteilt werden sollten, kann nur für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ tendenziell als bestätigt angesehen werden. Für die Variante „Plasma“ konnten für beide Vergleiche keine signifikanten Unterschiede in der Beurteilung gefunden werden. Dieses Ergebnis deckt sich insofern mit den Fahrdaten, als dass auch diese tendenziell eine stabilere Querregelung für die Variante „Plasma“ abgebildet hatten. Offensichtlich unterstützten ein oder mehrerer Eigenschaften der Variante „Plasma“ die Querregelung während der Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe so gut, dass subjektiv keine Beeinträchtigung durch die Aufgabenbearbeitung empfunden wurde.

Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Mit der qualitativen Effektstärkenbetrachtung sollten in erster Linie Fragen zur Sensitivität der Maße für bestimmte Einflussfaktoren bezogen auf eine Basisfahrt beantwortet und der Grad der relativen Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten bezüglich der erzielten Ergebnisse abgeschätzt werden. Außerdem interessierte die absolute Vergleichbarkeit der eingesetzten Fahrsimulatorvarianten.

Zur **Sensitivität** der Maße lässt sich sagen, dass die Maße vor allem für die sekundäre Aufgabenbearbeitung und hier speziell für die Bearbeitung der visuell-manuellen Aufgabe sensitiv waren. Dies zeigte sich in beinahe durchgängig großen Effekten.

Für die sekundäre kognitive Aufgabe zeigte sich diese Durchgängigkeit nicht. Hier reichten die Effektstufen von kein bis groß. Die unterschiedlichen Effektstufen traten vor allem auch innerhalb derselben Bedingung auf, was den Schluss zulässt, dass diese Maße offensichtlich unterschiedlich sensitiv sind. Außerdem trat bei der kognitiven Aufgabenbearbeitung auch ein Wechsel der Effektrichtung auf, so dass die unterschiedlichen Maße bezüglich der Stabilität der Querregelung hier zu unterschiedlichen Ergebnissen führten. Interessanterweise war für alle untersuchten Spurmaße, außer der TLC_{mean}, die Effektrichtung gemäß der von Engström et al. (2005) gefundenen Stabilisierung bei kognitiver Aufgabenbearbeitung gegeben. Alle Lenkmaße, bei denen ein Effekt auftrat, abgesehen von der SDST, sowie die TLC_{mean} zeigten effektstärken-

technisch eine stabilere Querregelung für die jeweilige Basisfahrt. Die stabilere Querregelung bei den Spurmaßen während der kognitiven Aufgabenbearbeitung wurde also durch eine erhöhte Lenkaktivität erreicht.

Die Sensitivitätsbetrachtung für die Fremdverkehrsbedingungen wies maximal mittlere Effekte auf. Auch hier zeigten einzelne Bedingungen Unterschiede von mehr als einer Effektstufe für unterschiedliche Maße. Für die Spurmaße zeigten sich für den „visuell-manuellen“ Streckenabschnitt nur sehr wenige kleine Effekte und ein mittlerer Effekt. Für den „kognitiven“ Streckenabschnitt waren fast dreimal so viele Effekte vorhanden. Die Effektrichtungen wechselten innerhalb einer Bedingung und zwischen den Bedingungen. Zwar gab es keine signifikanten Ergebnisse, die Häufung der aufgetretenen Effekte könnte aber ein Hinweis auf die Streckenabhängigkeit der Spurmaße sein. Dies war vor Beginn des Experimentes wegen der moderaten Kurvenführung des Rundkurses so nicht vermutet worden. Aus diesem Grund sollten bei den folgenden Experimenten alle Bedingungen auf einer einheitlichen Strecke abgetestet werden.

Für die Lenkmaße war der Trend der Effektrichtung eindeutig. Alle aufgetretenen Effekte zeigten eine Stabilisierung der Querregelung für die Fahrt „Ohne“ Fremdverkehr. Bei den Spurmaßen war dieser einheitliche Trend nicht gegeben. Dieser uneinheitliche Trend und das häufige Auftreten von keinem Effekt bei dem „visuell-manuellen“ Streckenabschnitt untermauern, bezogen auf die Spurmaße, auch die bereits bei der Diskussion der Hypothesen getroffenen Aussage, dass Fremdverkehr keinen Einfluss auf die Querregelung hatte. Bei den Lenkmaßen könnte der einheitliche Trend und das Vorliegen von zwei signifikanten Ergebnissen ein Hinweis darauf sein, dass Fremdverkehr einen sehr kleinen Einfluss auf das Lenkverhalten hatte. Doch hier müssten, wegen der kleinen Effekte, in zukünftigen Versuchen wesentlich mehr Versuchspersonen teilnehmen, damit der Einfluss des Fremdverkehrs auch signifikanzstatistisch nachgewiesen werden kann. Vorher müsste allerdings abgewogen werden, ob die gefundenen Ergebnisse bei den zu erwartenden kleinen Effektstärken auch von praktischer Bedeutung sind. In der vorliegenden Untersuchung hatte der Fremdverkehr insgesamt keinen Einfluss auf die Querregelung.

Interessant war der Einfluss des Fremdverkehrs auf die MLP. Hier zeigten sich bei dem „visuell-manuellen“ Streckenabschnitt für Fahrten „Mit“ Fremdverkehr durchgängig mittlere und große Effekte im Sinne einer Ausrichtung zur rechten Spurmarkierung. Derselbe Trend, mit nicht ganz so hohen Effektstärken, zeigte sich für den „kognitiven“ Streckenabschnitt.

Für die vorliegende Untersuchung wäre ebenfalls die Verwendung des Lenkmaßes ZERO ausreichend gewesen. Der höhere Berechnungsaufwand für das Lenkmaß SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ lieferte keinen Informationsgewinn. Für den „kognitiven“ Streckenabschnitt konnte keine der drei TLC-Berechnungsvarianten ausgeschlossen werden. Im Hinblick auf den „visuell-manuellen“ Streckenabschnitt bildeten die drei Berechnungsmaße redundante Ergebnisse ab, so dass auch hier eine TLC-Berechnungsvariante ausgereicht hätte.

Zusammenfassend lässt sich vorsichtig schlussfolgern, dass die betrachteten Spurmaße für den Fremdverkehrseinfluss nicht sensitiv waren, sondern aufgrund des einheitlichen Trends eher die Lenkmaße. Die MLP zeigte die deutlichste Sensitivität für

den Fremdverkehr. Die Probanden fuhren bei Vorhandensein von Fremdverkehr eher zur rechten Spurmarkierung hin, entfernten sich also eher vom Fremdverkehr. Sie zeigten damit ein Verhalten, welches die Überlegungen aus Abschnitt 5.3 stützt, nämlich dass ein Fahren näher an der rechten Spurmarkierung einem besseren Sicherheitsempfinden geschuldet ist.

Vom Trend her stützten die Effektstärken, bis auf zwei Ausnahmen, das signifikante Ergebnis der SRR2 hinsichtlich der stabileren Querregelung für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Die angesprochenen Ausnahmen betrafen die Maße TLC_{pct} und LANEX bei der Bedingung „Basisfahrt Mit Fremdverkehr“, welche bei beiden Streckenabschnitten gegeben waren. Weswegen sich diese Maße, im Falle des Maßes LANEX sogar mit einem mittleren Effekt, gegen den allgemeinen Trend verhielten, kann nicht schlüssig erklärt werden.

Die separate Betrachtung der MLP zeigte bei Vorliegen eines Effekts für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ in fünf von acht Fällen eine Ausrichtung zum rechten Fahrbahnrand hin. Vorwiegend trat diese Ausrichtung in Bedingungen „Mit“ Fremdverkehr auf. Aus dem mittleren Effekt für die Basisfahrt „Ohne“ Fremdverkehr für den „kognitiven“ Streckenabschnitt sollen in diesem Zusammenhang keine weiteren Schlüsse gezogen werden, da die übrigen drei Vergleiche „Ohne“ Fremdverkehr keinen Effekt ergeben hatten.

Die **relative Vergleichbarkeit** der beiden Fahrsimulatorvarianten konnte wieder als gut eingeschätzt werden. In lediglich acht von 80 Fällen war keine relative Vergleichbarkeit gegeben. Die resultierenden Effektstärken aus zwei identischen Bedingungen unterschieden sich bei diesen acht Fällen also um mehr als eine Stufe.

Die **absolute Vergleichbarkeit** war für die Spur- und Lenkmaße, wie in Experiment 1, nicht gegeben. In beinahe der Hälfte der Bedingungen traten mittlere oder große Effekte auf. Innerhalb von Bedingungen variierten allerdings auch hier die Effektstärken um mehr als eine Stufe, so dass das Maßverhalten ein eher heterogenes Bild abgab.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die im Rahmen von Experiment 1 gefundene Überlegenheit der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ bei identischem Lenkwiderstand nicht repliziert werden konnte. Vielmehr zeigte sich in den Bedingungen, in denen Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten gefunden wurden, eine Überlegenheit der Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Der Einfluss der sekundären visuell-manuellen Aufgabe hatte einen deutlichen Einfluss auf die Querregelung. Die Aufgabe, die Kassette während der Fahrt zu wechseln, war offenbar ablenkend genug, um eine instabilere Querregelung deutlich abzubilden. Die Auswirkungen der sekundären kognitiven Aufgabe waren nicht so ausgeprägt. Teilweise zeigte sich, wie bei Östlund et al. (2005), für die Spurmaße eine Stabilisierung durch die Aufgabenfahrt, wobei die Lenkaktivität zunahm. Dieses geänderte Lenkverhalten sorgte offensichtlich dafür, dass die für die visuell manuelle Aufgabe gefundenen Signifikanzen für die kognitive Sekundäraufgabe nicht so deutlich hervortraten.

Die eingesetzte Fremdverkehrskonfiguration zeigte keine deutliche Auswirkung auf die Querregelung. Bei dem Vergleich der aufgetretenen Effektstärken zwischen den beiden Streckenabschnitten fand sich vom Trend her eine Zunahme der Effekte für die Spurmaße, was auf eine vorher nicht vermutete Streckenabhängigkeit hindeuten könnte. Aus diesem Grund sollten in den Folgeexperimenten alle Bedingungen mit demselben Streckenabschnitt abgetestet werden. Da befürchtet wurde, dass das wiederholte Fahren auf demselben Streckenabschnitt zu einer gewissen Monotonie führen könnte, wurde beschlossen, in den Folgeexperimenten alle Bedingungen mit Fremdverkehr zu konfigurieren. Neben dem Vorteil der Monotonievermeidung hatte sich bei der MLP gezeigt, dass der Fremdverkehr zumindest für eine stärkere Ausrichtung an der rechten Spurmarkierung sorgte, was als Risikovermeidung gedeutet werden könnte. Somit steht zu vermuten, dass der Fremdverkehr für eine realistischere Fahrbedingung sorgt und eine stärkere Konzentration auf die Fahraufgabe hervorruft.

In Experiment 3 sollte nun versucht werden, herauszufinden, welche Eigenschaften der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ für die stabilere Querregelung sorgten. Auch sollte die hier getestete Aufgabenfahrt nochmals wiederholt werden, um vor dem Hintergrund des gegenteiligen Ergebnisses von Experiments 1 die gefundenen Resultate abzusichern. Zusätzlich sollte mit Hilfe einer neuen sekundären kognitiven Aufgabe überprüft werden, ob die gefundenen Tendenzen noch deutlicher ausfallen können. Bei Experiment 3 sollte zudem der Faktor VARIANTE „within“ realisiert werden, um für diesen Faktor mehr Versuchspersonen zur Verfügung zu haben und den gefundenen Trend ggf. auch signifikanzstatistisch abzusichern.

10 Experiment 3: „Der Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung, Fahrsimulatorvariante, Größe des Sichtfeldes, vertikalen Balken und Bildqualität auf die Querregelung“

10.1 Ziel der Untersuchung

Nachdem in Experiment 2 Hinweise auf die Überlegenheit der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ gefunden worden waren, sollte in Experiment 3 gezielt der Einfluss derjenigen Faktoren, die diese Variante von der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ unterschieden, untersucht werden. Dies waren insbesondere die höhere Auflösung, das Vorhandensein von Querbalken und ein etwas kleineres horizontales und vertikales Sichtfeld. Einen Einfluss der Auflösung und der Referenzrahmen vermuteten bereits Chatziastros et al. (1999) in ihrer Untersuchung. Weitere Hinweise auf den Einfluss von visuellen Bezugspunkten lieferten Wilkie und Wann (2002), wenngleich die Rolle von diesen Bezugspunkten nicht eindeutig belegt ist (vgl. Abschnitt 3.1.1).

Zur Untersuchung der Sensitivität der Maße und der relativen und absoluten Vergleichbarkeit der Fahrsimulatorvarianten unter verschiedenen Bedingungen, wurden bei Experiment 3 wiederum sekundäre visuell-manuelle und kognitive Aufgaben bearbeitet.

Sekundäre Aufgabenbearbeitung: Der Einfluss von sekundären Aufgaben unterschiedlicher Modalität, welcher bereits im Rahmen von Experiment 2 untersucht wurde, sollte in Experiment 3 fortgeführt werden. Neben der bewährten sekundären visuell-manuellen Aufgabe des Kassettenwechselns („**Kassette**“) sollte eine andere kognitive Aufgabe mit mehr Praxisbezug zum Einsatz kommen. Hierzu wurde eine Fahrplanauskunft der Deutschen Bahn mittels eines Handys mit Freisprecheinrichtung angerufen, um bestimmte Verbindungsinformationen einzuholen („**Bahnauskunft**“). Diese kognitive Aufgabe stammt von den Kollegen Krems, Rösler und Baumann der TU Chemnitz und war bereits in einem gemeinsamen Projekt mit der BMW Group eingesetzt worden (nicht veröffentlicht). Die sekundären Aufgabenfahrten wurden auch in diesem Experiment einer Fahrt ohne Aufgabenbearbeitung gegenübergestellt („**Basisfahrt**“).

Fahrsimulatorvariante/-modifikation: Zur Bestimmung des Einflusses der Variante wurden die Fahrten wieder an beiden Fahrsimulatorvarianten „**Plasma**“ und „**Projektion**“ durchgeführt. Zusätzlich wurden an der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ zwei Modifikationen vorgenommen, um gezielt den Einfluss der Größe des Sichtfeldes, der vertikalen Balken und der Bildqualität auf die Querregelung untersuchen zu können. Durch Blenden wurden in diese Fahrsimulatorvariante Querbalken eingebracht („**Projektion mit Balken**“). Diese Querbalken erschienen unter dem gleichen Sehwinkel wie die Monitorrahmen bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“. Durch Blenden wurde die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ so modifiziert, dass bezüglich des horizontalen und vertikalen Sichtfelds, einschließlich der Querbalken, derselbe visuelle Eindruck hervorgerufen wurde wie bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ („**Projektion klein Balken**“). Zur Vereinfachung der weiteren Beschreibung sollen im Folgenden sowohl die

unmodifizierten als auch die modifizierten Fahrsimulatorvarianten unter dem Begriff Modifikationen bzw. Fahrsimulatormodifikationen zusammengefasst werden.

Die Bedingungen wurden in Experiment 3 vollständig „within“ getestet. Durch dieses Vorgehen standen für den Vergleich der Fahrsimulatormodifikationen mehr Probanden zur Verfügung. Alle Probanden fuhren in zwei Sitzungen in den unterschiedlichen Fahrsimulatormodifikationen. Pro Modifikation absolvierte jeder Proband drei unterschiedliche Fahrten: Eine Basisfahrt, eine Fahrt mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung und eine Fahrt mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung. Jede dieser Fahrten wurde zweimal wiederholt, so dass pro Simulatormodifikation insgesamt zwölf Einzelfahrten vorlagen.

Die Bestimmung von Größe und Richtung dieser fünf Einflussfaktoren erfolgte anhand von objektiven und subjektiven Daten. Die subjektiven Daten wurden mit Hilfe von Fragebögen und mündlichen Zwischenfragen erhoben. Die objektiven Daten bildeten alle betrachteten Lenk- und Spurmaße (vgl. Kapitel 5), welche gemäß Kapitel 7 berechnet wurden. Aufbauend auf den bisherigen Ausführungen wurden folgende Hypothesen überprüft:

Hypothese 1: Wie bei Experiment 2 wurde generell eine instabilere Querregelung durch die Bearbeitung einer visuell-manuellen Aufgabe, verglichen mit einer Basisfahrt, erwartet.

Hypothese 2: Die Bearbeitung einer sekundären kognitiven Aufgabe sollte, im Vergleich zu einer Basisfahrt, für das Spurmaß SDLP zu einer stabileren Querregelung führen, während die TLC_{mean} und die $SRR_{0.4}$ eine instabilere Querregelung abbilden sollten. Dieser Zusammenhang wurde wegen der Untersuchung von Engström et al. (2005) und der Befunde aus Experiment 2 vermutet.

Hypothese 3: Das Vorhandensein von Balken sollte bei identischem Sichtfeld und identischer Auflösung zu einer stabileren Querregelung führen. Der zusätzliche visuelle Bezug durch die vertikalen Balken sollte die Querregelung generell erleichtern, da die Balken einen wichtigen visuellen Bezugspunkt für die Steueraufgabe liefern (Wann und Land, 2002).

Hypothese 4: Eine höhere Auflösung bei gleichzeitigem Vorhandensein von vertikalen Balken sollte, insbesondere bei Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe, zu einer stabileren Querregelung führen. Einerseits bieten die vertikalen Balken einen starken visuellen Bezugspunkt (vgl. Wann & Land, 2000) zum anderen bedeutet eine höhere Auflösung, dass die Fahrszene bei der Blickzuwendung besser bzw. schneller foveal verarbeitet werden kann, so dass hier keine Einengung des Sichtfeldes durch erhöhte Erkennungsschwierigkeit gegeben sein sollte (vgl. Murata, 2004).

Hypothese 5: Ein größeres vertikales und horizontales Sichtfeld sollte, bei identischer Auflösung und dem Vorhandensein von Querbalken, zu einer stabileren Querregelung führen. Dies wurde vermutet, da bei dem größeren vertikalen Sichtfeld zusätzlich die Motorhaube als visueller Bezugspunkt in der Fahrszene vorhanden war (vgl. Wann & Land, 2000).

Hypothese 6a: Die Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, sollte für die unmodifizierte Variante „Projektion“, verglichen mit der unmodifizierten Variante

„Plasma“, höher eingestuft werden. Dies wurde, wie in Hypothese 4 begründet, vor allem wegen der höheren Auflösung und wegen des Vorhandenseins eines starken visuellen Bezugspunktes in Form der vertikalen Balken vermutet.

Hypothese 6b: Fahrten mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung in den unmodifizierten Fahrsimulatorvarianten sollten im Vergleich zu Fahrten mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung als ablenkender empfunden werden. Dies wurde aufgrund der nötigen Blickabwendungen von der Fahrbahn vermutet, wodurch das Risiko prinzipiell steigen sollte, von der Fahrbahn abzukommen.

10.2 Methode

10.2.1 Versuchspersonen

Für dieses Experiment wurden Fahrsimulator-Neulinge als Probanden gewählt, um untersuchungsübergreifende Betrachtungen zu ermöglichen. Im Gegensatz zu den beiden vorherigen Untersuchungen wurden bei diesem Experiment nur Männer als Probanden eingesetzt. Die Änderung wurde vorgenommen, da bislang nur Frauen von Simulatorübelkeit betroffen waren. Dieser Umstand deckt sich mit Befunden aus der Literatur (vgl. Stanney, Hale, Nahmens & Kennedy, 2003). Mit dieser Maßnahme sollte der Versuch unternommen werden, die Anzahl möglicher Ausfälle aufgrund von Simulatorübelkeit gering zu halten.

Insgesamt drei der 32 Probanden mussten aus anderen Gründen von der Datenauswertung ausgeschlossen werden. Ein Proband konnte den Folgetermin nicht wahrnehmen, zwei weitere Probanden missachteten überproportional häufig die Instruktion bezüglich der Geschwindigkeitsvorgabe. Die folgenden Ausführungen beziehen sich deshalb auf die 29 Probanden, deren Daten ausgewertet worden waren. Wie bei den beiden vorherigen Untersuchungen setzte sich die Stichprobe aus jungen Probanden zusammen. Der Altersdurchschnitt der Probanden lag bei 27.2 Jahren (SD=3.8 Jahre). Der jüngste Proband war 22 Jahre alt, der älteste 36 Jahre. Von den 29 Probanden verfügten 22 über einen technischen Hintergrund, fünf Probanden gehörten dem Wirtschaftsingenieursbereich an und zwei Probanden bildeten eine Sonderkategorie.

Der durchschnittliche Führerscheinbesitz lag bei 9 Jahren (SD=3.9 Jahre). Die Verteilung der Fahrleistung der Probanden kann Tabelle 10.1 entnommen werden. Mit 76% der Probanden in den beiden mittleren Kategorien wurde die Stichprobe als geeignet und als vergleichbar zu den Stichproben der beiden anderen Experimente eingestuft.

Tabelle 10.1 Fahrleistung der Probanden

	Km pro Jahr			
	< 5000	**5000 – 10000**	**10000 – 20000**	**> 20000**
Anzahl Probanden	5	10	12	2

Von den 29 Probanden gaben zwei an, sowohl den PC, das Touchpad am Notebook, ein Mobiltelefon und ein Navigationssystem im PKW privat oder beruflich zu nutzen. Insgesamt 17 Probanden nutzten nach eigenen Angaben drei der vier genannten,

die übrigen zehn Probanden immerhin die Hälfte der aufgelisteten Geräte. Knapp die Hälfte der Probanden spielt privat Computerspiele, davon aber nur drei Probanden auch sehr selten mit einem Spielelenkrad. Bedeutsame Unterschiede zwischen den Probanden aufgrund sehr unterschiedlicher Erfahrung und Übung im Umgang mit Computerspielen und Spielelenkrad wurden vor dem Hintergrund dieser Daten nicht gesehen. Von den Probanden gaben sieben an, privat ein Auto der Marke BMW zu fahren. Insgesamt 10 Probanden fuhren privat Autos von Mitbewerbern und weitere sechs fuhren nach eigenen Angaben privat Autos verschiedener Hersteller. Immerhin sechs Probanden stand privat kein Auto zur Verfügung.

Probanden, die eine Sehhilfe benötigten, brachten diese zum Versuch mit. Mit Hilfe eines Sehtests wurde zudem sichergestellt, dass keiner der Probanden hinsichtlich der für das Experiment geforderten Sehfähigkeit unbemerkte Defizite aufwies (siehe auch Abschnitt 10.2.3). Alle Versuchsteilnehmer hatten bis zu dieser Untersuchung keine Erfahrung mit Fahrsimulatoren und waren zum Datenerhebungszeitpunkt bei der BMW Group angestellt. Die Versuchsteilnahme erfolgte innerhalb der regulären Arbeitszeit und aus Interesse an der Untersuchung.

10.2.2 Versuchsplan

Aufgeteilt auf zwei Sitzungen fuhren alle 29 Probanden in den beiden statischen Fahrsimulatorvarianten und den beiden Simulatormodifikationen. Diese sind in dem Versuchsplan unter dem Oberbegriff „Modifikationen“ zusammengefasst (vgl. Tabelle 10.2). In beiden Sitzungen fuhren die Probanden in jeweils einer Fahrsimulatorvariante und einer Simulatormodifikation jeweils 12 Einzelfahrten von je vier Minuten. Eine FAHRT-Stufe stellte die Basisfahrt dar, bei welcher der Proband nur die primäre Fahraufgabe für die vorgegebene Strecke zu absolvieren hatte. Während der beiden anderen FAHRT-Stufen musste der Proband zusätzlich eine Aufgabe bearbeiten. Die eine Aufgabenfahrt beinhaltete eine sekundäre visuell-manuelle Aufgabe, die andere eine sekundäre kognitive Aufgabe. Die Basisfahrten und die Fahrten mit sekundärer visuell-manueller bzw. kognitiver Aufgabenbearbeitung wurden jeweils zweimal wiederholt. Der Versuchsplan mit kompletter Messwiederholung kann Tabelle 10.2 entnommen werden.

Tabelle 10.2 Versuchsplan Experiment 3

		Modifikationen			
		„Plasma“	„Projektion“	„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“
FAHRT	„Basis“	29 Pbn			
	„Task visuell-manuell”				
	„Task kognitiv”				

Der Versuchsplan in Tabelle 10.2 kann im Sinne von vier Teilexperimenten verstanden werden. Der Faktor FAHRT war bei drei Teilexperimenten dreifach gestuft („Basis“ vs. „Task visuell-manuell“ vs. „Task kognitiv“). Die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ wurde beibehalten, da sich diese Aufgabe u.a. im Rahmen von

Experiment 2 bewährt hatte. Die Gründe für die Wahl und die Realisierung entsprechen denjenigen für Experiment 2 (vgl. Abschnitt 9.2.2). Die sekundäre kognitive Aufgabe sollte das Kurzzeitgedächtnis beanspruchen, darüber hinaus aber Vorkenntnisse der Probanden als Störvariable ausschließen. Die Suche nach einer passenden sekundären kognitiven Aufgabe führte zu einer Aufgabe, welche bereits von den Kollegen der TU Chemnitz erfolgreich eingesetzt worden war. Die Aufgabe bestand darin, bei der elektronischen Bahnauskunft anzurufen, um mit Hilfe des Sprachsystems die Ankunftszeit eines Zuges an einem vorgegebenen Bahnhof in Erfahrung zu bringen. Der Vorteil dieser Aufgabe wurde darin gesehen, dass sich alle Probanden in vergleichbaren Intervallen auf die Antworten des elektronischen Systems konzentrieren mussten.

Die Faktoren VARIANTE („Plasma“ vs. „Projektion“), SICHTFELD bei schlechter Bildqualität („Projektion klein Balken“ vs. „Projektion mit Balken“), BALKEN bei schlechter Bildqualität („Projektion“ vs. „Projektion mit Balken“) und QUALITÄT bei kleinem Sichtfeld („Plasma“ vs. „Projektion klein Balken“) waren jeweils zweifach gestuft. Die Einschränkungen in der Globalität der Aussage zu diesen Einflussfaktoren sind auf technische Begrenzungen zurückzuführen. So gibt es beispielsweise keine Plasmabildschirme ohne Balken oder mit einer Größe des Sichtfeldes, wie sie bei einer Projektionsleinwand möglich ist.

Jede Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung bzw. jede Basisfahrt wurde zweimal wiederholt, um ggf. auftretenden Messausfällen entgegenzuwirken. Ohne Eingewöhnungsfahrt absolvierte ein Proband insgesamt 36 Einzelfahrten. Diese Einzelfahrten verteilten sich auf zwei Sitzungen. Zur Verringerung der Anzahl der notwendigen Termine wurden die Modifikationen „Projektion mit Balken“ und „Projektion“ innerhalb eines Termins abgehandelt. Die Reihenfolge der Aufgaben war über Probanden und Bedingungen hinweg ausbalanciert. Die Probanden wurden per Losverfahren den Reihenfolgen für die Modifikationen zugewiesen. Mindestens drei Probanden absolvierten eine spezifische Reihenfolge. Die bearbeiteten Reihenfolgen für die vier Modifikationen können Tabelle 10.3 entnommen werden.

Tabelle 10.3 Bearbeitungsabfolgen für die vier Modifikationen

A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8
PR	PR	PRB	PRB	PL	PRkB	PL	PRkB
PRB	PRB	PR	PR	PRkB	PL	PRkB	PL
PL	PRkB	PL	PRkB	PRB	PRB	PR	PR
PRkB	PL	PRkB	PL	PR	PR	PRB	PRB

Legende: PL = Plasma; PR = Projektion; PRB = Projektion mit Balken;
PRkB = Projektion klein Balken;
weiß hinterlegt: Erste Sitzung; grau hinterlegt: Zweite Sitzung

Für jede Modifikation wurden die Probanden einer der sechs möglichen Abfolgen für den Faktor FAHRT zufällig zugewiesen (siehe Tabelle 10.4). Jeweils fünf Probanden bearbeiteten pro Modifikation eine Abfolge. Die Abfolgen für jeden Probanden variierten dabei über die Modifikationen hinweg. Mit Hilfe dieses Vorgehens sollten Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen werden.

Tabelle 10.4 Bearbeitungsabfolgen für den Faktor FAHRT

FAHRT 1	FAHRT 2	FAHRT 3	FAHRT 4	FAHRT 5	FAHRT 6
Bahnauskunft	Bahnauskunft	Kassette	Kassette	Basisfahrt	Basisfahrt
Basisfahrt	Kassette	Bahnauskunft	Basisfahrt	Kassette	Bahnauskunft
Kassette	Basisfahrt	Basisfahrt	Bahnauskunft	Bahnauskunft	Kassette

Als objektive abhängige Variablen wurden die vier Lenk- und Spurmaße herangezogen, die bereits bei den Experimenten 1 und 2 für die Hypothesenprüfung eingesetzt worden waren: „Standardabweichung der lateralen Position“ (SDLP), eine Berechnungsvariante der „Time to Line Crossing“ (TLC_{mean}), „Standardabweichung des Lenkwinkels“ (SDST) und „Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute Gap 2 (SRR_2) bzw. Gap 0.4 ($SRR_{0.4}$). Ausgewählte Fragebogendaten bzw. Antworten auf mündliche Fragen bildeten die subjektiven abhängigen Variablen (vgl. Fragebogen C2a bzw. C2b).

Für die Beurteilung der Sensitivität der einzelnen Maße wurden alle verbleibenden Maße berechnet (vgl. Abschnitt 5.1 und 5.2). Auf der Seite der Lenkmaße handelte es sich um die „Anzahl der Nulldurchgänge“ pro Kilometer (ZERO) und den „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ (HFC). Die Spurmaße setzten sich aus der „Mittleren lateralen Position“ (MLP), der „Anzahl der Spurüberschreitungen“ pro Kilometer (LANEX) sowie der zwei weiteren Berechnungsvarianten der „Time to Line Crossing“ (TLC_{thresh} und TLC_{pct}) zusammen.

10.2.3 Material und Geräte

Auch bei Experiment 3 fanden die bereits in Kapitel 7 beschriebenen Fahrsimulatorvarianten Verwendung. Im Zusammenhang mit dem bereits angesprochenen Fahrsimulatorumzug in das „Zentrum für Fahrsimulation und Usability“ wurde die Projektionsleinwand der Variante „Projektion“ erneuert. Leider war es nicht möglich, vergleichende Messungen zwischen den beiden Projektionswänden vorzunehmen, da die alte Projektionsleinwand während des Umzugs verloren ging. Die neue Projektionswand wurde nach Expertenmeinung tendenziell als besser eingestuft, da die neue Stoffbespannung insgesamt regelmäßiger ausfiel als das bemalte Holz und das Bild als etwas heller empfunden wurde.

Die Modifikation „Projektion klein Balken“ wurde, basierend auf der Modifikation „Projektion“, zur Verringerung des Sichtfeldes sowohl software- als auch hardwareseitig realisiert. Dazu wurde die Leinwand mittels schwarzen Stoffs und Platten, die mit schwarzem Stoff bezogen waren, abgehängt. Die Abdeckung des unteren vertikalen Sichtfeldes erfolgte mittels eines Gestells, das eine stabile Befestigung des schwarzen Stoffs ermöglichte. Dank dieser modularen Lösung konnte die Modifikation „Projektion“ innerhalb kürzester Zeit in die Modifikationen „Projektion mit Balken“ bzw. „Projektion klein Balken“ umgebaut werden.

Abbildung 10.1 Modifikation „Projektion klein Balken“

Damit die abgedeckten Flächen wirklich schwarz erschienen, mussten in der Software schwarze Flächen auf die Szenerie gelegt werden. Das Ergebnis war ein Fahreindruck wie bei der Modifikation „Plasma“, was ein Vergleich von Abbildung 10.1 und Abbildung 10.2 anschaulich zeigt.

Abbildung 10.2 Modifikation „Plasma“

Um eine gewisse Vergleichbarkeit über alle Experimente hinweg sicherzustellen, wurden die gefahrene Strecke, der Startpunkt für die Versuchsfahrten und die Konfiguration des Fremdverkehrs ohne Änderungen von Experiment 2 übernommen. Fremdverkehr war bei Experiment 3 zur Steigerung der externen Validität bei allen Einzelfahrten gegeben. Für die Eingewöhnungsfahrt wurde ein separater Aufsetzpunkt gewählt (siehe Abbildung 10.3). Für eine direkte Vergleichbarkeit der beiden Aufgabentypen, ohne Konfundierung durch Unterschiede im Streckenverlauf, wurden die beiden Aufgabentypen anhand einzelner Versuchsfahrten realisiert. Zusätzlich wurde die Anzahl der Aufgabendurchgänge von zwei auf drei erhöht, um den Anteil an Datenausfällen möglichst gering zu halten. Ein Aufgabendurchgang bestand bei der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahnauskunft“ aus einer Abfrage. Die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ wurde wegen der Kürze der Aufgabe zweimal unmittelbar hintereinander durchgeführt (vgl. Experiment 2). Die gefahrene Strecke pro Aufgabe verkürzte sich damit wie in Abbildung 10.3 dargestellt.

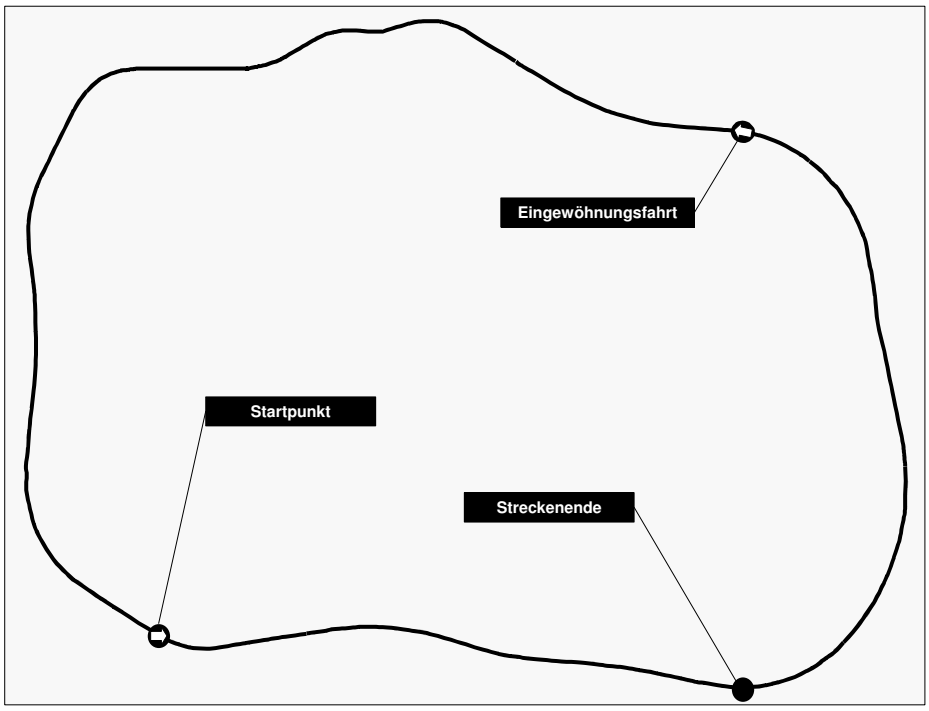

Abbildung 10.3 Schematische Darstellung der Strecke für Experiment 3

Die Geschwindigkeitsüberwachung, welche in den beiden vorherigen Experimenten von der VL selbst durchgeführt worden war, wurde für diesen Versuch softwareseitig gelöst. Sobald der Proband um mehr als +/- 15 km/h von der vorgegebenen Geschwindigkeit abwich, wurde er zweimal kurz hintereinander durch einen hohen Ton von dem System darauf aufmerksam gemacht. Der Ton enthielt keine Informationen über die Richtung des Abweichens. Er war entsprechend hoch gewählt, damit er sich deutlich vom eigentlichen Fahrgeräusch abhob. Ein zweimaliges Erklingen des Tones kurz hintereinander sollte die Aufmerksamkeit des Probanden sicherstellen.

Der Proband hatte 10 Sekunden Zeit, mit Hilfe des Tachos die Richtung der Abweichung zu identifizieren und anzupassen. Stimmte nach diesem Zeitfenster die aktuelle Geschwindigkeit noch nicht mit der vorgegebenen überein, erklang der Ton

erneut. Diese Prozedur wiederholte sich so lange, bis der Proband wieder innerhalb der Geschwindigkeitsvorgaben fuhr. Ein Abweichen von der vorgegebenen Geschwindigkeit wurde gesondert im Datenprotokoll vermerkt.

Für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ wurde wiederum das CARIN–System verwendet (vgl. Abschnitt 9.2.3). Für die Bearbeitung und Überwachung der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahnauskunft“ wurde ein tragbares Telefon mit einem Head Set und einem Lautsprecher verbunden. Das Head Set war so modifiziert, dass der Proband über das Mikrofon des Head Sets das Gespräch führen konnte. Gleichzeitig wurde der Dialog über die Lautsprecher ausgegeben. Diese Umsetzung ermöglichte es der VL, den Dialog mit dem System online mitzuverfolgen und bei ggf. auftretenden Problemen sofort einzugreifen. Durch das Head Set wurde zudem gewährleistet, dass die Beanspruchung durch die Aufgabe auf den kognitiven Bereich beschränkt war.

Zusätzlich kamen Karten zum Einsatz, die alle relevanten Informationen zum Führen des Dialogs beinhalteten. Dabei handelte es sich jeweils um einen Bahnhof am Abfahrtsort, einen Bahnhof am Zielort, das Abfahrtsdatum und die Abfahrtszeit (siehe Tabelle 10.5). Die einseitige Beschriftung der Karten stellte sicher, dass der Proband nach dem Einprägen der Verbindung nicht versucht war, sich während der Fahrt die Verbindung durch Blickabwendungen von der Straße noch einmal ins Gedächtnis zu rufen.

Tabelle 10.5 Beispiel für den Inhalt der eingesetzten Karten

Von:	Mainz Gustavsburg
Nach:	Rostock Thierfelderstraße
Am:	26.Mai 2006
Abfahrtszeit:	13:39 Uhr

Zur Erfassung des subjektiven Eindrucks wurden die bereits aus den beiden vorherigen Untersuchungen bekannten Fragebögen angepasst (siehe Fragebögen C1 und C2 im Anhang A.3). Nach jeder Fahrt mit Aufgabenbearbeitung beantworteten die Probanden mündlich fünf Fragen (siehe Anhang A.3).

Um Unterschiede in den Ergebnissen aufgrund von unbemerkten Defiziten im Sehvermögen ausschließen zu können, durchliefen die Probanden, als Ergänzung zu ihren Angaben im Fragebogen, einen Sehtest. Dieser Test wurde gemäß der zugehörigen Bedienungsanleitung mit Hilfe des Geräts „Ergovision“ von Essilor durchgeführt. Bei diesem Gerät handelte es sich um einen Tischaufbau, der in einem separaten Raum aufgestellt war. Zunächst wurde für beide Augen getrennt die „Sehschärfe Fernsicht“ bestimmt und die „Binokulare Sehschärfe Nahsicht“. Nun wurde die „Stereoskopie (Nahsicht)“, das „Periphere Sehen“, die „Kontrasterkennung (mittlere Entfernung)“ und als letzter Test das „Mesopische Sehen (mittlere Entfernung)“ überprüft. Nach Aussage eines Optikers liefern diese Tests ausreichende Informationen, um die Sehfähigkeit für einen Versuch am Fahrsimulator sicherzustellen. Mit Hilfe dieses Optikers wurden zudem Grenzwerte für die einzelnen Tests festgelegt. Alle Probanden lagen oberhalb der

Grenzwerte, so dass kein Proband aufgrund ungenügender Sehfähigkeit von der Versuchsteilnahme ausgeschlossen werden musste. Die Störvariable „Unterschiede im Sehvermögen“ konnte vor diesem Hintergrund ausgeschlossen werden.

10.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion

Der Versuch fand im Zeitraum vom 6.3.06 – 7.4.06 im „Zentrum für Fahrsimulation und Usability“ in München statt und wurde vollständig von der Autorin durchgeführt.

Der erste von insgesamt zwei Versuchsterminen, die jeweils ca. 1.5 Stunden dauerten, begann nach der Begrüßung mit der Überprüfung der Sehfähigkeit des Probanden. Ergab der Sehtest keine kritischen Defizite, wechselten Proband und VL in den eigentlichen Versuchsraum. Dort füllte der Proband zunächst den demografischen Fragebogen C1 aus.

Im Anschluss daran wurde der Proband in die erste Modifikation eingewiesen. Nach dem Anpassen der Sitzeinstellung wurde überprüft, ob die Augenhöhe des Probanden mit den vorgegebenen 1.20 Metern übereinstimmte. Nun konnte sich der Proband im Rahmen einer fünfminütigen Eingewöhnungsfahrt mit der Modifikation vertraut machen. Dabei lernte der Proband auch den akustischen Hinweisreiz kennen, der bei zu großen Geschwindigkeitsabweichungen von der Vorgabe erklang. Nach dieser Fahrt gaben alle Probanden an, sich ausreichend für den Versuch vorbereitet zu fühlen.

Nun wurde der Proband als erstes in die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ eingewiesen und bekam die Möglichkeit, die Aufgabe einmal im Stand zu üben. Sobald alle Fragen zu dieser Aufgabe geklärt waren, erklärte die VL das Prinzip der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahnauskunft“. Dazu wurde dem Probanden zunächst das Ziel der Aufgabe, der Aufbau der Karten sowie die Bedienung des Telefons erklärt.

Zu Übungszwecken durchlief der Proband einmal vollständig den Dialog. Die Übungsverbindung musste sich der Proband nicht einprägen. Er wurde aber darauf hingewiesen, dass er sich während des Versuchs die einzelnen Verbindungen vor der eigentlichen Fahrt einprägen müsse. Sobald die Übungsabfrage der Verbindung erfolgreich durchlaufen worden war, wurde das Auffahren auf die Autobahn mit gleichzeitigem Starten des Dialogs geübt. Nach zwei Durchgängen waren alle Probanden in der Lage, so auf die Autobahn zu fahren und den Dialog zu starten, dass zwei Kriterien erfüllt waren: Bei Aufgabenbeginn fuhr der Proband mit der vorgegebenen Geschwindigkeit auf der rechten Fahrspur. Mit der ersten Frage des Systems wurde an der in der Versuchsstrecke als „Startpunkt“ gekennzeichneten Stelle begonnen.

Für die Fahraufgabe wurde der Proband folgendermaßen instruiert*:*

„Ich bin daran interessiert, herauszufinden, wie Simulator-Neulinge beim Fahren in einem Fahrsimulator zurechtkommen. Aus diesem Grund möchte ich Sie bitten, möglichst konzentriert mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h in der von mir vorgegebenen Spur zu fahren und die entsprechenden Aufgaben zu bearbeiten, sobald ich Sie dazu auffordere. Sobald Sie von dieser Geschwindigkeit zu sehr abweichen, werden Sie akustisch darauf aufmerksam gemacht und müssen unverzüglich eine Geschwindigkeitskorrektur gemäß Tacho vornehmen. Auch wenn keine Gefahr bezüglich Unfällen besteht, möchte ich Sie bitten, so sorgfältig und konzentriert zu fahren, wie Sie es bei einer realen Autofahrt auch

tun würden. Außerdem möchte ich Sie bitten, mir rechtzeitig Bescheid zu geben, falls Sie sich nicht mehr gut fühlen sollten.“

Darüber hinaus wurde der Proband darauf hingewiesen, dass bei der Aufgabenbearbeitung keine schnelle Abarbeitung, sondern eine sorgfältige Erledigung ohne Vernachlässigung der eigentlichen Fahraufgabe im Vordergrund stand. Es wurde betont, dass nicht die Beurteilung der Befähigung des einzelnen Probanden von Interesse war, sondern eine generelle Untersuchung des Fahrverhaltens von Fahrsimulator-Neulingen. Abschließend wurde noch einmal hervorgehoben, dass die Fahraufgabe immer an erster Stelle stehen solle und die Aufgabenbearbeitung an zweiter.

Der Proband begann mit dem ersten Block, bestehend aus drei Fahrten. Im Anschluss an diesen Block wurde eine kurze Pause gemacht. Handelte es sich bei dem Block um Fahrten mit Aufgabenbearbeitung, wurden dem Probanden im Anschluss an die Fahrt fünf Fragen gestellt. Nun folgten zwei weitere Blöcke in derselben Vorgehensweise. Nach deren Beendigung füllte der Proband den Fragebogen C2 aus. Das Vorgehen für die zweite Modifikation verlief analog. Der demografische Fragebogen C1, die Eingewöhnungsfahrt und die Einführung in die Aufgaben entfielen jedoch. Mit der Verabschiedung endete der erste der beiden Versuchstermine. Der zweite Termin mit jeweils den beiden anderen Modifikationen verlief identisch, wobei bei diesem Termin der demografische Fragebogen C1 wiederum entfiel, die Eingewöhnungsfahrt auf drei Minuten verkürzt wurde und die Aufgaben nur kurz wiederholt wurden.

10.3 Ergebnisse

10.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten

Ein Proband musste von vornherein von der Datenauswertung ausgeschlossen werden, da er aus zeitlichen Gründen den Folgetermin nicht wahrnehmen konnte. Vor der Aufbereitung der Fahrdaten der verbleibenden 31 Probanden wurde überprüft, ob im Rahmen des Fragebogens C2 Angaben zu Übelkeit während der Versuchsfahrten gemacht worden waren. Da diese Frage kein einziges Mal bejaht worden war, musste kein weiterer Proband von der Auswertung ausgeschlossen werden. Anhand der Frage zu den bisherigen Fahrten in Fahrsimulatoren im Rahmen des Fragebogens C1 konnte überprüft werden, ob alle Probanden mit denselben Vorkenntnissen zum Versuch erschienen waren. Keiner der 31 Probanden war vor dem Versuch bereits in einem Fahrsimulator gefahren, weshalb übungsbedingte Unterschiede als Störvariable ausgeschlossen werden konnten.

Der erste Durchgang einer Basisfahrt bzw. einer Aufgabenfahrt wurde jeweils als Übungsfahrt angesehen. Dies war vor allem im Hinblick auf die Aufgabenfahrten wichtig, damit die Probanden beide Aufgaben einmal während des Fahrens bearbeitet hatten, bevor die auswertungsrelevanten Daten aufgezeichnet wurden. Jeweils der zweite Durchgang einer Basisfahrt bzw. einer Aufgabenbearbeitungsfahrt wurde für die Auswertung herangezogen. Der dritte Durchgang diente als Sicherung. Zunächst wurden für alle 31 Probanden die zweiten und dritten Durchgänge aller Fahrten in MS Access importiert und auf etwaige Fehler bei der Datenaufzeichnung kontrolliert. Es wurden in den 744 Daten-

protokollen keine Fehler gefunden, welche anhand der Videomitschnitte hätten korrigiert werden müssen.

In einem nächsten Schritt konnte die Streckenkürzung als Grundlage für die weitere statistische Auswertung vorgenommen werden. Da beide Aufgaben denselben Startpunkt hatten, musste die Streckenkürzung bezogen auf das Ende der Aufgabenbearbeitung vorgenommen werden. Dabei wurden die Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung auf eine einheitliche Länge, ausgehend vom Startpunkt, normiert. Die Basisfahrten wurden anhand der Streckenkilometer in ihrer Länge entsprechend angepasst. Es wurde angenommen, dass durch dieses Vorgehen Fehler bei krümmungssensitiven Maßen ausgeschlossen wurden.

Inwieweit die vorgegebene Geschwindigkeit von 120 km/h mit dem Toleranzbereich von +/- 15 km/h eingehalten worden war, konnte anhand der Kontrollvariable „Geschwindigkeitsüberschreitung“ in jedem Datenprotokoll überprüft werden. Die Analyse dieser Kontrollvariable ergab, dass bei zwei Probanden mehr als 10% der Geschwindigkeitsmesswerte über alle Fahrten hinweg außerhalb des Toleranzbereichs lagen. Diese Probanden wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Darüber hinaus ergab diese Geschwindigkeitsbetrachtung, dass bei dem Probanden Nummer 17 für die Modifikation „Plasma“ und die Aufgabenfahrt „Bahnauskunft“ ebenfalls ein um mehr als 10%iges Über- bzw. Unterschreiten des Toleranzbereiches gegeben war. Bei dem Probanden Nummer 17 wurde für diese Bedingung der 3. Durchgang für die statistische Auswertung verwendet. Für die übrigen Probanden konnte für alle Bedingungen jeweils der zweite Durchgang herangezogen werden. Die Grundlage für die nächsten Schritte bildeten somit die 348 Dateien von 29 Probanden.

Die elf Maße bzw. Berechnungsvarianten wurden für alle 348 Dateien, analog zu den beiden vorherigen Experimenten, berechnet. Die Berechnung der Maße SRR, HFC und TLC erfolgt ein weiteres Mal über das Programm Matlab (Version 6.5.1). Die übrigen Maße wurden erneut direkt in der Datenbank berechnet. Alle Ergebnisfiles wurden in SPSS (11.5) eingelesen. Anhand dieser resultierenden Datentabelle wurden die statistischen Berechnungen vorgenommen.

Basierend auf dieser Datentabelle wurde überprüft, ob weitere Probanden aufgrund von zu vielen Ausreißerwerten von der Auswertung ausgeschlossen werden mussten. Als Ausreißer wurden wieder Werte verstanden, welche von den erstellten Boxplots als Ausreißer oder Extremwert deklariert wurden. Das Kriterium der Boxplots entsprach dabei dem mehr als 1.5fachen des Interquartilabstandes. Sobald über alle Bedingungen hinweg mehr als 20% der Maße Ausreißer darstellten, sollte der jeweilige Proband von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die Überprüfung ergab, dass keiner der Probanden dieses Kriterium erreichte.

10.3.2 Hypothesenüberprüfung

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wurden, getrennt für alle vier Maße, u.a. jeweils drei zweifaktorielle Varianzanalysen gerechnet. Bei den drei Varianzanalysen gingen beide Faktoren als vollständige Messwiederholungsfaktoren in die Auswertung ein. Als Voraussetzung für die Anwendung eines solchen Berechnungsverfahrens gelten wiederum Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität. Bei der vorliegenden Untersuchung waren gleich große Zellumfänge gegeben. Die Anzahl von 29 Probanden in einem vollständigen Messwiederholungsdesign wurde als mehr als ausreichender Stichprobenumfang eingestuft, so dass Verletzungen der ersten beiden Voraussetzungen keine Rolle spielen sollten (vgl. Bortz, 1993). Etwaige Sphärizitätsverletzungen konnten mit der Korrektur nach Greenhouse-Geisser abgefangen werden. Für die Einzelvergleiche zur gezielten Hypothesenprüfung wurde das strenge Kriterium angewendet (vgl. Abschnitt 8.3.2).

Für einen ersten Überblick werden jeweils Mittelwerte und Standardfehler nach Maß und Bedingung aufgeschlüsselt dargestellt. In die Darstellung gingen die Daten aller 29 Probanden inklusive ihrer Ausreißerwerte ein, da diese Ausreißerwerte bei einzelnen Maßen als Bestandteil des individuellen Fahrstils interpretiert wurden (vgl. Experiment 1 und 2). Die Ergebnisse wurden bereits teilweise veröffentlicht (vgl. Knappe et al. 2008).

10.3.2.1 Einflussfaktoren FAHRT und VARIANTE

In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse zu den Einflussfaktoren FAHRT und VARIANTE detailliert beleuchtet werden. Die Betrachtung erfolgt dabei getrennt für jedes Maß.

SDLP („Standardabweichung der lateralen Position“)

In Tabelle 10.6 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SDLP, getrennt nach Bedingung, für die Faktoren FAHRT und VARIANTE dargestellt.

Tabelle 10.6 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.17 (0.01)	0.18 (0.01)	0.18 (0.01)
	„Task visuell-manuell”	0.27 (0.02)	0.25 (0.01)	0.26 (0.01)
	„Task kognitiv“	0.17 (0.01)	0.15 (0.01)	0.16 (0.01)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.20 (0.01)	0.19 (0.01)	

Wie Tabelle 10.6 entnommen werden kann, fiel die mittlere SDLP für die Variante „Projektion“ tendenziell niedriger aus als für die Variante „Plasma“. Die mittlere SDLP war für die „Task visuell-manuell“ absolut gesehen am höchsten und für die „Task kognitiv“ am niedrigsten. Für die FAHRT-Stufe „Basis“ lag die mittlere SDLP genau zwischen den

beiden Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung. Die Standardfehler fielen über alle Bedingungen hinweg nahezu identisch aus.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und VARIANTE ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, $F(1.742)=54.647$, $p \leq .01$. Der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE sowie die Interaktion zwischen den beiden Faktoren fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Ausgehend von dem hochsignifikanten Haupteffekt FAHRT wurde, getrennt für beide Varianten, anhand einseitiger t-Tests für abhängige Stichproben überprüft, welche Unterschiede zwischen Basisfahrt und FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell" jeweils signifikant ausfielen. Für die Variante „Projektion" zeigten sich, verglichen mit der Basisfahrt, hochsignifikant höhere SDLP-Werte für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell", $t(28)=5.460$, $p<.001$. Die Variante „Plasma" hatte unter der FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell" ebenfalls die hochsignifikant höheren SDLP-Werte, $t(28)=4.995$, $p<.001$.

Anhand von einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben wurde für beide Varianten überprüft, inwieweit sich die FAHRT-Stufe „Task kognitiv" von der Basisfahrt signifikant unterschied. Für die Variante „Projektion" ergab dieser t-Test, im Vergleich zu der Basisfahrt, signifikant niedrigere SDLP-Werte für die FAHRT-Stufe „Task kognitiv", $t(28)=2.745$, $p \leq .05$. Hinsichtlich der Variante „Plasma" konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden FAHRT-Stufen gefunden werden ($t(28)=.426$, n.s.).

TLC_{mean} („Time to Line Crossing")

In Tabelle 10.7 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß TLC_{mean} für die Faktoren FAHRT und VARIANTE dargestellt.

Tabelle 10.7 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE

		VARIANTE		
		„Plasma"	„Projektion"	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis"	3.63 (0.09)	3.59 (0.09)	3.61 (0.08)
	„Task visuell-manuell"	2.67 (0.10)	2.83 (0.12)	2.75 (0.08)
	„Task kognitiv"	3.61 (0.11)	3.68 (0.11)	3.65 (0.10)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	3.30 (0.06)	3.37 (0.07)	

Wie Tabelle 10.7 entnommen werden kann, lag die mittlere TLC_{mean} für die Variante „Projektion" über derjenigen für die Variante „Plasma". Absolut gesehen fiel die TLC_{mean} für die Aufgabenfahrt „Task visuell-manuell" am niedrigsten aus und für die Aufgabenfahrt „Task kognitiv" am höchsten. Für die FAHRT-Stufe „Basis" lag die mittlere TLC_{mean} zwischen den beiden Aufgabenfahrten. Die Standardfehler fielen über alle Bedingungen hinweg vergleichbar aus.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und VARIANTE ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, $F(1.898)=41.770$, $p \leq .01$. Der Faktor VARIANTE sowie die Interaktion zwischen den beiden Faktoren fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Für beide Varianten wurde anhand einseitiger t-Tests für abhängige Stichproben überprüft, inwieweit sich die FAHRT-Stufen „Task visuell-manuell“ und „Basis“ jeweils signifikant unterschieden. Für die Variante „Projektion“ zeigten sich, im Vergleich zu der Basisfahrt, hochsignifikant niedrigere TLC_{mean}-Werte für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“, t(28)=-4.981, p<.001. Die Variante „Plasma“ wies ebenfalls unter der FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ die hochsignifikant niedrigeren TLC_{mean}-Werte auf, t(28)=-6.241, p<.001.

Anhand von zwei weiteren einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben wurde für beide Varianten überprüft, ob sich die FAHRT-Stufen „Task kognitiv“ und „Basis“ signifikant unterschieden. Für die Variante „Projektion“ konnte kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden FAHRT-Stufen festgestellt werden (t(28)=-.691, n.s.). Hinsichtlich der Variante „Plasma“ gab es ebenfalls keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden FAHRT-Stufen (t(28)=.134, n.s.).

SDST („Standardabweichung des Lenkwinkels“)

In Tabelle 10.8 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SDST, getrennt nach FAHRT und VARIANTE, dargestellt.

Tabelle 10.8 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.85 (0.02)	0.86 (0.02)	0.85 (0.02)
	„Task visuell-manuell“	1.18 (0.04)	1.22 (0.07)	1.20 (0.04)
	„Task kognitiv“	0.87 (0.03)	0.85 (0.03)	0.86 (0.02)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.97 (0.02)	0.97 (0.03)	

Wie Tabelle 10.8 entnommen werden kann, fiel die mittlere SDST für beide Varianten identisch aus. Die beiden FAHRT-Stufen „Basis“ und „Task kognitiv“ waren hinsichtlich der mittleren SDST nahezu identisch. Für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ fiel die mittlere SDST, absolut gesehen, am höchsten aus. Die Standardfehler waren innerhalb einer FAHRT-Stufe vergleichbar.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und VARIANTE ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, F(1.445)=50.231, p≤.01. Der Faktor VARIANTE, sowie die Interaktion zwischen den beiden Faktoren, fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Aufbauend auf dem hochsignifikanten Haupteffekt FAHRT wurde, getrennt für beide Varianten, anhand einseitiger t-Tests für abhängige Stichproben überprüft, inwieweit zwischen den FAHRT-Stufen „Task visuell-manuell“ und „Basis“ signifikante Unterschiede bestanden. Für die Variante „Projektion“ zeigten sich, im Vergleich zu der Basisfahrt, hochsignifikant höhere SDST-Werte für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“, t(28)=4.815, p<.001. Die Variante „Plasma“ wies unter der FAHRT-Stufe „Task

visuell-manuell“ ebenfalls die hochsignifikant höheren SDST-Werte auf, t(28)=8.058, p<.001.

Anhand einseitiger t-Tests für abhängige Stichproben wurde für beide Varianten überprüft, inwieweit die Unterschiede zwischen den FAHRT-Stufen „Task kognitiv“ und „Basis“ signifikant ausfielen. Für die Variante „Projektion“ ergab dieser t-Test keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der SDST-Werte (t(28)=.301, n.s.). Hinsichtlich der Variante „Plasma“ konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden FAHRT-Stufen festgestellt werden (t(28)=-.863, n.s.).

SRR („Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute)

Die statistische Auswertung des Maßes SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ wich von der Auswertung der anderen drei Maße ab, da die unterschiedlichen Gapgrößen bei diesem Maß als eigenständige Maße angesehen wurden. Deshalb erfolgte bei diesem Maß die Auswertung getrennt nach sekundärer visuell-manueller bzw. kognitiver Aufgabe, für welche die Gapgröße optimiert worden war. Der Faktor FAHRT war bei den beiden zweifaktoriellen Varianzanalysen für das Maß SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ somit jeweils nur zweifach gestuft.

In Tabelle 10.9 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SRR_2, getrennt nach FAHRT und VARIANTE, dargestellt.

Tabelle 10.9 Maß SRR_2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	4.01 (0.63)	4.19 (0.65)	4.10 (0.53)
	„Task visuell-manuell“	9.58 (1.03)	9.86 (1.31)	9.72 (0.97)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	6.80 (0.64)	7.03 (0.76)	

Wie Tabelle 10.9 entnommen werden kann, lag die mittlere SRR_2 der Variante „Projektion“ über derjenigen der Variante „Plasma“. Die mittlere SRR_2 der FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ war über derjenigen der FAHRT-Stufe „Basis“. Die Standardfehler lagen, innerhalb einer FAHRT-Stufe, in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und VARIANTE, ohne die kognitive Aufgabe, ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor FAHRT, F(1)=31.560, p≤.01. Der Faktor VARIANTE sowie die Interaktion zwischen den beiden Faktoren fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Der Einfluss der FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“, verglichen mit der FAHRT-Stufe „Basis“, sollte für beide Varianten anhand eines einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben überprüft werden. Dieser t-Test für die Variante „Projektion“ ergab, im Vergleich zu der FAHRT-Stufe „Basis“, hochsignifikant höhere SRR_2-Werte für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“, t(28)=4.047, p<.001. Bezüglich der Variante „Plasma“ zeigten sich ebenfalls hochsignifikant höhere SRR_2-Werte für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“, t(28)=4.930, p<.001.

In Tabelle 10.10 befinden sich, getrennt nach Bedingung, die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß $SRR_{0.4}$.

Tabelle 10.10 Maß $SRR_{0.4}$: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und VARIANTE

		VARIANTE		
		„Plasma“	„Projektion“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	41.39 (2.27)	36.84 (1.93)	39.11 (1.90)
	„Task kognitiv“	50.91 (3.37)	44.83 (2.37)	47.87 (2.67)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	46.15 (2.31)	40.84 (1.90)	

Wie Tabelle 10.10 entnommen werden kann, fiel die mittlere $SRR_{0.4}$ für die Variante „Projektion“ niedriger aus als für die Variante „Plasma“. Die mittlere $SRR_{0.4}$ für die FAHRT-Stufe „Basis“ lag unter derjenigen der FAHRT-Stufe „Task kognitiv“. Die Standardfehler der Variante „Plasma“ waren über denjenigen der Variante „Projektion“.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und VARIANTE, ohne die visuell-manuelle Aufgabe, ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für die Faktoren VARIANTE [$F(1)=13.017$, $p\leq.01$] und FAHRT [$F(1)=13.326$, $p\leq.01$]. Die Interaktion zwischen den beiden Faktoren fiel nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Der Einfluss der FAHRT-Stufe „Task kognitiv“, verglichen mit der FAHRT-Stufe „Basis“, wurde für beide Varianten anhand einseitiger t-Tests für abhängige Stichproben überprüft. Der t-Test für die Variante „Projektion“ ergab hochsignifikant höhere $SRR_{0.4}$-Werte für die FAHRT-Stufe „Task kognitiv“, $t(28)=-3.877$, $p\leq.001$. Bezüglich der Variante „Plasma“ zeigten sich ebenfalls hochsignifikant höhere $SRR_{0.4}$-Werte für die FAHRT-Stufe „Task kognitiv“, $t(28)=-2.788$, $p<.01$.

Zur Überprüfung, ob sich die $SRR_{0.4}$-Werte für die beiden Varianten bei der FAHRT-Stufe „Basis“ bzw. bei der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Task kognitiv“ signifikant unterschieden, wurden zwei weitere einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. Die $SRR_{0.4}$-Werte fielen bei der FAHRT-Stufe „Basis“ für die Variante „Projektion“, verglichen mit der Variante „Plasma“, hochsignifikant niedriger aus, $t(28)=-2.484$, $p\leq.01$. Ein Vergleich der beiden Varianten hinsichtlich der Aufgabenfahrt „Task kognitiv“ ergab ebenfalls hochsignifikant niedrigere $SRR_{0.4}$-Werte für die Variante „Projektion“, $t(28)=-2.619$, $p\leq.01$.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die varianzanalytische Auswertung nur für das Maß $SRR_{0.4}$ einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor VARIANTE ergab. Der Vergleich der beiden Varianten „Plasma“ und „Projektion“ erbrachte für die FAHRT-Stufe „Basis“ und für die FAHRT-Stufe „Task kognitiv“ die stabilere Querregelung zugunsten der Variante „Projektion“.

Der Faktor FAHRT war durchweg hochsignifikant. Die t-Tests für abhängige Stichproben zwischen der Fahrt mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung und der Basisfahrt ergaben bei allen vier Maßen die instabilere Querregelung für die Fahrt mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung.

Die t-Tests für abhängige Stichproben zwischen der kognitiven Aufgabenfahrt und der Basisfahrt ergaben für das Maß SDLP bei der Variante „Projektion“ die stabilere Querregelung für die kognitive Aufgabenfahrt. Für das Maß $SRR_{0.4}$ lieferte der Einzelvergleich bei beiden Varianten die verstärkte Lenkaktivität für die kognitive Aufgabenfahrt.

10.3.2.2 Einflussfaktoren FAHRT und BALKEN

In diesem Abschnitt soll, getrennt für jedes Maß, auf die varianzanalytischen Ergebnisse zu den Einflussfaktoren FAHRT und BALKEN eingegangen werden. Wegen experimentalübergreifender Betrachtungen der Ergebnisse wurde die Überprüfung der Hypothese bezüglich des Einflussfaktors FAHRT anhand der Daten der Varianzanalyse FAHRT und VARIANTE (vgl. Abschnitt 10.3.2.1) vorgenommen. Ein signifikanter Haupteffekt FAHRT wurde nicht mehr weiterführend analysiert.

SDLP („Standardabweichung der lateralen Position“)

In Tabelle 10.11 sind die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern der beiden Faktoren FAHRT und BALKEN, getrennt nach Bedingung, für das Maß SDLP dargestellt.

Tabelle 10.11 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN

		BALKEN		
		„Projektion“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.18 (0.01)	0.19 (0.01)	0.19 (0.01)
	„Task visuell-manuell“	0.25 (0.01)	0.27 (0.02)	0.26 (0.02)
	„Task kognitiv“	0.15 (0.01)	0.17 (0.01)	0.16 (0.01)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.19 (0.01)	0.21 (0.01)	

Wie Tabelle 10.11 entnommen werden kann, lag die mittlere SDLP für die Modifikation „Projektion mit Balken“ über derjenigen für die Modifikation „Projektion“. Für die drei FAHRT-Stufen fand sich die niedrigste mittlere SDLP für „Task kognitiv“ und die höchste für „Task visuell-manuell“. Die Standardfehler fielen nahezu identisch aus.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und BALKEN ergab für den Faktor FAHRT [$F(1.391)=41.077$, $p\leq.01$] einen hochsignifikanten Haupteffekt und für den Faktor BALKEN [$F(1)=4.074$, $p\leq.05$] einen signifikanten Haupteffekt. Für die Interaktion fand sich kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.3).

Die aufbauend auf dem signifikanten Haupteffekt BALKEN durchgeführten t-Tests für abhängige Stichproben ergaben weder für die Basisfahrt ($t(28)=-0.994$, n.s.), noch für die sekundäre kognitive Aufgabe ($t(28)=-1.129$, n.s.), noch für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe ($t(28)=-0.840$, n.s.) einen signifikanten Unterschied.

TLC_{mean} („Time to Line Crossing“)

In Tabelle 10.12 befinden sich Mittelwerte und Standardfehler für das Maß TLC_{mean}, getrennt nach Bedingung, für die Faktoren FAHRT und BALKEN.

Tabelle 10.12 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN

		BALKEN		
		„Projektion“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	3.59 (0.09)	3.83 (0.11)	3.71 (0.80)
	„Task visuell-manuell“	2.83 (0.12)	2.77 (0.09)	2.80 (0.09)
	„Task kognitiv“	3.68 (0.11)	3.81 (0.11)	3.75 (0.09)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	3.37 (0.07)	3.47 (0.08)	

Wie die deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.12 zeigt, lag die mittlere TLC_{mean} für die Variante „Projektion“ unter derjenigen für die Simulatormodifikation „Projektion mit Balken“. Hinsichtlich der drei FAHRT-Stufen fand sich, absolut gesehen, die höchste TLC_{mean} für „Task kognitiv“ und die niedrigste für „Task visuell-manuell“. Die mittleren TLC_{mean}-Werte für die beiden FAHRT-Stufen „Task kognitiv“ und „Basis“ lagen dabei sehr nah beieinander. Die Standardfehler waren in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und BALKEN ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.821)=56.818$, $p \leq .01$. Für den Faktor BALKEN und die Interaktion fand sich kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.3).

SDST („Standardabweichung des Lenkwinkels“)

Tabelle 10.13 enthält, aufgeschlüsselt nach den Bedingungen, die mittleren SDST-Werte und Standardfehler für die Faktoren FAHRT und BALKEN.

Tabelle 10.13 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN

		BALKEN		
		„Projektion“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.86 (0.02)	0.85 (0.02)	0.85 (0.02)
	„Task visuell-manuell“	1.22 (0.07)	1.34 (0.07)	1.28 (0.06)
	„Task kognitiv“	0.85 (0.03)	0.86 (0.03)	0.85 (0.03)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.97 (0.03)	1.01 (0.03)	

Die deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.13 ergab eine höhere mittlere SDST für die Modifikation „Projektion mit Balken“ verglichen mit der Modifikation „Projektion“. Im Hinblick auf die drei FAHRT-Stufen fanden sich identische Werte für „Basis“ und „Task kognitiv“. Die mittlere SDST für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ lag über den beiden anderen Stufen. Innerhalb einer FAHRT-Stufe waren die Standardfehler in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und BALKEN ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.315)=48.592$, $p \leq .01$. Der Faktor BALKEN sowie die Interaktion fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

SRR („Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute)

Die statistische Auswertung des Maßes SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ stellte wiederum die Ausnahme dar, da die Auswertung bei diesem Maß getrennt nach visuell-manueller (SRR_2) bzw. kognitiver ($SRR_{0.4}$) Aufgabenbearbeitung erfolgte. Der Faktor FAHRT war bei beiden zweifaktoriellen Varianzanalysen jeweils nur zweifach gestuft.

Zunächst soll auf die Ergebnisse für das Maß SRR_2 eingegangen werden. Tabelle 10.14 können die Mittelwerte und Standardfehler, getrennt nach Bedingungen, für die Faktoren FAHRT und BALKEN entnommen werden.

Tabelle 10.14 Maß SRR_2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN

		BALKEN		
		„Projektion“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	4.19 (0.65)	3.35 (0.72)	3.77 (0.52)
	„Task visuell-manuell“	9.86 (1.31)	9.00 (1.08)	9.43 (1.12)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	7.03 (0.76)	6.18 (0.67)	

Die deskriptive Betrachtung zeigt (vgl. Tabelle 10.14), dass die mittlere SRR_2 für die Variante „Projektion“ über derjenigen für die Simulatormodifikation „Projektion mit Balken“ lag. Die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ zeigte im Vergleich zu der FAHRT-Stufe „Basis“ die höhere mittlere SRR_2. Die Standardfehler waren innerhalb einer FAHRT-Stufe in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und BALKEN, ohne die kognitive Aufgabe, lieferte für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=21.348$, $p \leq .01$. Der Faktor BALKEN sowie die Interaktion fielen nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Abschließend soll auf die Ergebnisse für das Maß $SRR_{0.4}$ für die Faktoren FAHRT und BALKEN eingegangen werden. Die entsprechenden Mittelwerte und Standardfehler befinden sich in Tabelle 10.15.

Tabelle 10.15 Maß $SRR_{0.4}$: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und BALKEN

		BALKEN		
		„Projektion“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	36.84 (1.93)	36.62 (2.29)	36.73 (1.77)
	„Task kognitiv“	44.83 (2.37)	43.69 (2.78)	44.26 (2.29)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	40.84 (1.90)	40.16 (2.23)	

Wie die deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.15 zeigt, lag die mittlere $SRR_{0.4}$ für die Modifikation „Projektion“ über derjenigen für die Modifikation „Projektion mit Balken“. Die mittlere $SRR_{0.4}$ war für die FAHRT-Stufe „Task kognitiv“ über derjenigen für die FAHRT-Stufe „Basis“. Die Standardfehler lagen innerhalb einer FAHRT-Stufe in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und BALKEN, ohne die visuell-manuelle Aufgabe, ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=18.759$, $p\leq.01$. Der Faktor BALKEN sowie die Interaktion zwischen den beiden Faktoren lieferte kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.3).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass, abgesehen von dem Maß SDLP, bei allen betrachteten Maßen nur der Faktor FAHRT hochsignifikant ausfiel. Für das Maß SDLP gab es zusätzlich noch einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor BALKEN, wobei die einseitigen t-Tests für abhängige Stichproben für keine FAHRT-Stufe einen signifikanten Unterschied ergaben.

10.3.2.3 Einflussfaktoren FAHRT und SICHTFELD

In diesem Abschnitt soll auf die Ergebnisse zu den Einflussfaktoren FAHRT und SICHTFELD eingegangen werden. Die Betrachtung erfolgt dabei getrennt für jedes Maß. Ein signifikanter Haupteffekt FAHRT wurde nicht mehr weiterführend analysiert (vgl. Abschnitt 10.3.2.2).

SDLP („Standardabweichung der lateralen Position“)

In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 10.16) befinden sich für das Maß SDLP Mittelwerte und Standardfehler, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Bedingungen.

Tabelle 10.16 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD

		SICHTFELD		
		„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.19 (0.01)	0.19 (0.01)	0.19 (0.01)
	„Task visuell-manuell“	0.29 (0.03)	0.27 (0.02)	0.28 (0.02)
	„Task kognitiv“	0.18 (0.01)	0.17 (0.01)	0.17 (0.01)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.22 (0.01)	0.21 (0.01)	

Wie eine deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.16 zeigt, fiel die mittlere SDLP für die beiden Modifikationen „Projektion klein Balken“ und „Projektion mit Balken“ nahezu identisch aus. Hinsichtlich der drei FAHRT-Stufen lag die mittlere SDLP für „Basis“ minimal über derjenigen für „Task kognitiv“. Die mittlere SDLP für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ war mit Abstand am höchsten. Die Standardfehler fielen über die Bedingungen hinweg vergleichbar aus.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.397)=21.916$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors SICHTFELD als auch die Interaktion fiel nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

TLC_{mean} („Time to Line Crossing“)

Mittelwerte und Standardfehler für die betrachteten Bedingungen sind für das Maß TLC_{mean} in Tabelle 10.17 aufgeführt.

Tabelle 10.17 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD

		SICHTFELD		
		„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	3.83 (0.12)	3.83 (0.11)	3.83 (0.10)
	„Task visuell-manuell“	2.91 (0.10)	2.77 (0.09)	2.84 (0.07)
	„Task kognitiv“	3.62 (0.11)	3.81 (0.11)	3.72 (0.10)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	3.45 (0.08)	3.47 (0.08)	

Wie Tabelle 10.17 zeigt, lag die mittlere TLC_{mean} für die Modifikation „Projektion mit Balken“, deskriptiv betrachtet, knapp über derjenigen für die Modifikation „Projektion klein Balken“. Hinsichtlich der drei FAHRT-Stufen fand sich die niedrigste mittlere TLC_{mean} für „Task visuell-manuell“ und die höchste für „Basis“. Die Standardfehler waren über alle Bedingungen hinweg in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD lieferte für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.781)=63.148$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors SICHTFELD als auch die Interaktion fiel nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

SDST („Standardabweichung des Lenkwinkels“)

Für das Lenkmaß SDST sind Mittelwerte und Standardfehler für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD, getrennt nach Bedingung, in Tabelle 10.18 aufgeführt.

Tabelle 10.18 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD

		SICHTFELD		
		„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.84 (0.02)	0.85 (0.02)	0.85 (0.02)
	„Task visuell-manuell“	1.28 (0.05)	1.34 (0.07)	1.31 (0.04)
	„Task kognitiv“	0.87 (0.03)	0.86 (0.03)	0.87 (0.03)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	1.00 (0.03)	1.01 (0.03)	

Wie Tabelle 10.18 entnommen werden kann, lag die mittlere SDST für die Modifikation „Projektion mit Balken“ knapp über derjenigen für die Modifikation „Projektion klein Balken“. Die mittlere SDST lag für die FAHRT-Stufen „Basis“ und „Task kognitiv“, absolut gesehen, relativ nah beieinander. Die mittlere SDST für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ fiel deutlich höher aus. Die Standardfehler waren innerhalb einer FAHRT-Stufe nahezu identisch.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.380)=106.434$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors SICHTFELD als auch die Interaktion lieferte kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.3).

SRR („Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute)

Für das Maß SRR erfolgte die Auswertung getrennt nach visuell-manueller (SRR_2) bzw. kognitiver ($SRR_{0.4}$) Aufgabenbearbeitung. Der Faktor FAHRT war bei beiden zweifaktoriellen Varianzanalysen jeweils nur zweifach gestuft.

Zunächst soll auf die Ergebnisse für das Maß SRR_2 eingegangen werden. Tabelle 10.19 können die Mittelwerte und Standardfehler dieses Maßes, getrennt nach den einzelnen Bedingungen, für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD entnommen werden.

Tabelle 10.19 Maß SRR_2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD

		SICHTFELD		
		„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	3.42 (0.69)	3.35 (0.72)	3.39 (0.61)
	„Task visuell-manuell“	8.68 (0.89)	9.00 (1.08)	8.84 (0.85)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	6.05 (0.67)	6.18 (0.67)	

Wie eine deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.19 zeigt, lag die mittlere SRR_2 für die Modifikation „Projektion mit Balken“ über derjenigen für die Modifikation „Projektion klein Balken“. Die mittlere SRR_2 für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ war deutlich über derjenigen für die FAHRT-Stufe „Basis“. Abgesehen von der FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ für die Modifikation „Projektion mit Balken“ lagen die Standardfehler in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD, ohne kognitive Aufgabe, ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=35.977$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors SICHTFELD als auch die Interaktion fiel nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Abschließend soll auf die Ergebnisse des Lenkmaßes $SRR_{0.4}$ für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD eingegangen werden. Mittelwerte und Standardfehler werden in Tabelle 10.20 aufgeführt.

Tabelle 10.20 Maß $SRR_{0.4}$: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und SICHTFELD

		SICHTFELD		
		„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	38.46 (2.07)	36.62 (2.29)	37.54 (1.88)
	„Task kognitiv“	46.59 (2.47)	43.69 (2.78)	45.14 (2.16)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	42.53 (1.99)	40.16 (2.23)	

Die deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.20 zeigt, dass die mittlere $SRR_{0.4}$ für die Modifikation „Projektion klein Balken“ über derjenigen für die Modifikation „Projektion mit Balken“ lag. Die mittlere $SRR_{0.4}$ für „Task kognitiv“ war über derjenigen für die FAHRT-Stufe „Basis“. Abgesehen von der FAHRT-Stufe „Task kognitiv“ für die Modifikation „Projektion mit Balken“ lagen die Standardfehler in einer in etwa vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und SICHTFELD, ohne visuell-manuelle Aufgabe, ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=24.459$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors SICHTFELD als auch die Interaktion war nicht signifikant (siehe Anhang A.3).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Varianzanalyse der Faktoren FAHRT und SICHTFELD bei allen betrachteten Maßen für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt ergab. Der Faktor SICHTFELD sowie die Interaktion war kein einziges Mal signifikant.

10.3.2.4 Einflussfaktoren FAHRT und QUALITÄT

In diesem Abschnitt soll auf die Ergebnisse zu den Einflussfaktoren FAHRT und QUALITÄT eingegangen werden. Die Betrachtung erfolgt dabei getrennt für jedes Maß. Ein signifikanter Haupteffekt FAHRT wurde nicht mehr weiterführend analysiert (vgl. Abschnitt 10.3.2.2).

SDLP („Standardabweichung der lateralen Position“)

In Tabelle 10.21 befinden sich Mittelwerte und Standardfehler für das Maß SDLP, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Bedingungen.

Tabelle 10.21 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT

		QUALITÄT		
		„Plasma“	„Projektion klein Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.17 (0.01)	0.19 (0.01)	0.18 (0.01)
	„Task visuell-manuell“	0.27 (0.02)	0.29 (0.03)	0.28 (0.02)
	„Task kognitiv“	0.17 (0.01)	0.18 (0.01)	0.17 (0.01)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.20 (0.01)	0.22 (0.01)	

Wie eine deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.21 zeigt, fiel die mittlere SDLP für die Modifikation „Projektion klein Balken“ absolut gesehen höher aus. Hinsichtlich der drei FAHRT-Stufen entsprach die mittlere SDLP für „Basis“ in etwa derjenigen für „Task kognitiv“. Die mittlere SDLP für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ war mit Abstand am höchsten. Die Standardfehler fielen innerhalb einer FAHRT-Stufe vergleichbar aus.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.284)=29.478$, $p\leq.01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors QUALITÄT als auch die Interaktion fiel nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

TLC_{mean} („Time to Line Crossing“)

Mittelwerte und Standardfehler für die betrachteten Bedingungen sind für das Maß TLC_{mean} in Tabelle 10.22 aufgeführt.

Tabelle 10.22 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT

		QUALITÄT		
		„Plasma“	„Projektion klein Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	3.63 (0.09)	3.83 (0.12)	3.73 (0.09)
	„Task visuell-manuell“	2.67 (0.10)	2.91 (0.10)	2.79 (0.08)
	„Task kognitiv“	3.61 (0.11)	3.62 (0.11)	3.62 (0.10)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	3.30 (0.06)	3.45 (0.08)	

Wie Tabelle 10.22 zeigt, lag die mittlere TLC_{mean} für die Modifikation „Projektion klein Balken“, deskriptiv betrachtet, über derjenigen für die Modifikation „Plasma“. Hinsichtlich der drei FAHRT-Stufen fand sich die niedrigste mittlere TLC_{mean} für „Task visuell-manuell“ und die höchste für „Basis“. Die Standardfehler bewegten sich über alle Bedingungen hinweg in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT lieferte für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.773)=39.986$, $p\leq.01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors QUALITÄT als auch die Interaktion fiel nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

SDST („Standardabweichung des Lenkwinkels“)

Für das Lenkmaß SDST sind Mittelwerte und Standardfehler für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT, getrennt nach Bedingung, in Tabelle 10.23 aufgeführt.

Tabelle 10.23 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT

		QUALITÄT		
		„Plasma“	„Projektion klein Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.85 (0.02)	0.84 (0.02)	0.85 (0.02)
	„Task visuell-manuell“	1.18 (0.04)	1.28 (0.05)	1.23 (0.04)
	„Task kognitiv“	0.87 (0.03)	0.87 (0.03)	0.87 (0.02)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	0.97 (0.02)	1.00 (0.03)	

Wie Tabelle 10.23 entnommen werden kann, lag die mittlere SDST für die Modifikation „Projektion klein Balken“ knapp über derjenigen für die Modifikation „Plasma“. Die mittlere SDST lag für die FAHRT-Stufen „Basis“ und „Task kognitiv“, absolut gesehen, relativ nah beieinander. Die mittlere SDST für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ fiel

deutlich höher aus. Die Standardfehler waren innerhalb einer FAHRT-Stufe nahezu identisch.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1.347)=74.330$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors QUALITÄT als auch die Interaktion lieferte kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.3).

SRR („Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute)

Für das Maß SRR erfolgte die Auswertung getrennt nach visuell-manueller (SRR_2) bzw. kognitiver ($SRR_{0.4}$) Aufgabenbearbeitung. Der Faktor FAHRT war bei beiden zweifaktoriellen Varianzanalysen jeweils nur zweifach gestuft.

Zunächst soll auf die Ergebnisse für das Maß SRR_2 eingegangen werden. Tabelle 10.24 können die Mittelwerte und Standardfehler dieses Maßes, getrennt nach den einzelnen Bedingungen, für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT entnommen werden.

Tabelle 10.24 Maß SRR_2: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT – ohne „Task“ kognitiv

		QUALITÄT		
		„Plasma“	„Projektion klein Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	4.01 (0.63)	3.42 (0.69)	3.72 (0.58)
	„Task visuell-manuell“	9.58 (1.03)	8.68 (0.89)	9.13 (0.78)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	6.80 (0.64)	6.05 (0.67)	

Wie eine deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.24 zeigt, lag die mittlere SRR_2 für die Modifikation „Plasma“ über derjenigen für die Modifikation „Projektion klein Balken“. Die mittlere SRR_2 für die FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ war deutlich über derjenigen für die FAHRT-Stufe „Basis“. Abgesehen von der FAHRT-Stufe „Task visuell-manuell“ für die Modifikation „Plasma“ lagen die Standardfehler in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT, ohne kognitive Aufgabe, ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=48.234$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors QUALITÄT als auch die Interaktion fiel nicht signifikant aus (siehe Anhang A.3).

Abschließend soll auf die Ergebnisse des Lenkmaßes $SRR_{0.4}$ für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT eingegangen werden. Mittelwerte und Standardfehler werden in Tabelle 10.25 aufgeführt.

Tabelle 10.25 Maß $SRR_{0.4}$: Mittelwerte und Standardfehler – Faktoren FAHRT und QUALITÄT – ohne „Task“ (visuell-manuell)

		QUALITÄT		
		„Plasma“	„Projektion klein Balken“	Zeilenmittelwerte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	41.39 (2.27)	38.46 (2.07)	39.93 (1.88)
	„Task kognitiv“	50.91 (3.37)	46.59 (2.47)	48.75 (2.61)
	Spaltenmittelwerte $\bar{y}$	46.15 (2.31)	42.53 (1.99)	

Die deskriptive Betrachtung von Tabelle 10.25 zeigt, dass die mittlere $SRR_{0.4}$ für die Modifikation „Plasma“ über derjenigen für die Modifikation „Projektion klein Balken“ lag. Die mittlere $SRR_{0.4}$ für „Task kognitiv“ war über derjenigen für die FAHRT-Stufe „Basis“. Die Standardfehler für die Modifikation „Plasma“ lagen für beide FAHRT-Stufen über denjenigen für die Modifikation „Projektion klein Balken“.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse für die Faktoren FAHRT und QUALITÄT, ohne visuell-manuelle Aufgabe, ergab für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt, $F(1)=16.030$, $p \leq .01$. Sowohl der Haupteffekt des Faktors QUALITÄT als auch die Interaktion war nicht signifikant (siehe Anhang A.3).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Varianzanalyse der Faktoren FAHRT und QUALITÄT bei allen betrachteten Maßen für den Faktor FAHRT einen hochsignifikanten Haupteffekt ergab. Der Faktor QUALITÄT sowie die Interaktion war kein einziges Mal signifikant.

10.3.3 Subjektive Bewertung

Vor Beginn der Einzelfahrten in einer Modifikation, zwischen den Einzelfahrten für die Modifikation und nach allen neun Einzelfahrten für diese Modifikation gaben die Probanden, anhand von Fragebögen bzw. mündlich auf Nachfrage der VL, subjektive Einschätzungen ab. Die Fragen bezogen sich u.a. auf die Ablenkung durch Aufgabenbearbeitung sowie die abschließende Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgeschriebenen Spur zu fahren. Die mündliche Beurteilung der Aufgabenfahrten hinsichtlich der Ablenkungswirkung sowie die Beantwortung der abschließenden Frage zur Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, erfolgte anhand einer fünfstufigen Skala. Den Skalen war gemeinsam, dass ein Wert von 1 „sehr gut“ und ein Wert von 5 „sehr schlecht“ bedeutete.

Die übrigen Daten wurden ergänzend erhoben, aber nicht weiterführend quantitativ ausgewertet. Die Beantwortung der Frage, ob dem Probanden während des Versuchs schlecht geworden war, wurde gesondert betrachtet (siehe oben).

Für die Auswertung wurden die Antworten von einer der fünf Zwischenfragen für den zweiten Durchgang der beiden Aufgabenfahrten herangezogen. In Tabelle 10.26 sind

Mittelwerte und Standardfehler für die mündliche Beantwortung der Frage, wie ablenkend das Bearbeiten der beiden Aufgabenfahrten war, für beide Varianten aufgeführt.

Tabelle 10.26 Beurteilung der Ablenkungswirkung der jeweiligen Aufgabenfahrt: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Variante

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Task kognitiv“	2.28 (0.19)	2.21 (0.17)
	„Task visuell-manuell“	2.69 (0.17)	2.41 (0.16)

Wie Tabelle 10.26 entnommen werden kann, lag für beide Varianten die mittlere Beurteilung der Ablenkungswirkung, ebenso wie die dazugehörigen Standardfehler, für den Aufgabentyp „visuell-manuell“ über derjenigen für den Aufgabentyp „kognitiv“. Zur Überprüfung, inwieweit die beschriebenen Unterschiede einer entsprechenden Signifikanzprüfung Stand halten, wurde für beide Fahrsimulatorvarianten jeweils ein einseitiger Wilcoxon Test gerechnet. Von parametrischen Tests wurde bei den subjektiven Beurteilungen abgesehen, da unklar war, inwieweit die Abstände zwischen den einzelnen Antwortstufen von allen Probanden als äquidistant wahrgenommen worden waren (vgl. Experiment 1 und Experiment 2). Für die Variante „Plasma“ zeigte der einseitige Wilcoxon Test, dass die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ im Vergleich zu der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahnauskunft“ als signifikant ablenkender eingestuft worden war ($Z=-2.054$, $p<.05$). Für die Variante „Projektion“ ergab der einseitige Wilcoxon Test keinen signifikanten Unterschied im Hinblick auf die Ablenkungswirkung dieser beiden Aufgabenfahrten ($Z=-1.166$, n.s.).

Die Mittelwerte und Standardfehler der Beantwortung der Frage, wie schwierig es war, in der vorgegebenen Spur zu fahren, sind, getrennt nach der Simulatorvariante, in Tabelle 10.27 aufgeführt. Diese Frage war Bestandteil des Fragebogens C2 (siehe Anhang A.3).

Tabelle 10.27 Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Variante „Plasma“ und „Projektion“

	VARIANTE	
	„Plasma“	„Projektion“
mittle Schwierigkeit	2.28 (0.17)	1.76 (0.14)

Wie Tabelle 10.27 entnommen werden kann, lag die mittlere Schwierigkeits-beurteilung, in der vorgegebenen Spur zu fahren, für die Variante „Plasma“ über derjenigen für die Variante „Projektion“. Die Standardfehler bewegten sich für beide Varianten in einer vergleichbaren Größenordnung. Zur Überprüfung der statistischen Bedeutsamkeit dieses Unterschiedes wurde ein einseitiger Wilcoxon Test gerechnet,

welcher eine hochsignifikant geringere Schwierigkeitsbeurteilung zugunsten der Variante „Projektion“ ergab, Z=-2.588, p<.01.

10.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Die qualitative Auswertung der Effektstärken lief nach dem selben Muster ab, wie bereits bei Experiment 1 und 2. Anders als bei den vorangegangenen Experimenten wurde hier die Fahrsimulatorvariante bzw. deren Bildgebung variiert. Von besonderem Interesse waren die Vergleiche zwischen der regulären Fahrsimulatorvariante „Plasma“ und der auf dasselbe Blickfeld maskierten Modifikation „Projektion klein Balken“, welche sich lediglich in ihrer Bildqualität unterschieden. Neben dem direkten Vergleich der beiden unveränderten Fahrsimulatorvarianten wurde auch die Variante „Projektion“ mit der Modifikation „Projektion mit Balken“, welche über vertikale Balken bei ansonsten identischem Blickfeld verfügte, verglichen. Bei der folgenden Ergebnisbeschreibung wird das Maß MLP gesondert betrachtet.

In Abbildung 10.4 sind die Effektstufen für alle vier Modifikationen, sowohl für die Bedingung „Basisfahrt“ vs. „Kassette“ als auch für die Bedingung „Basisfahrt“ vs. „Bahnauskunft“ zu sehen.

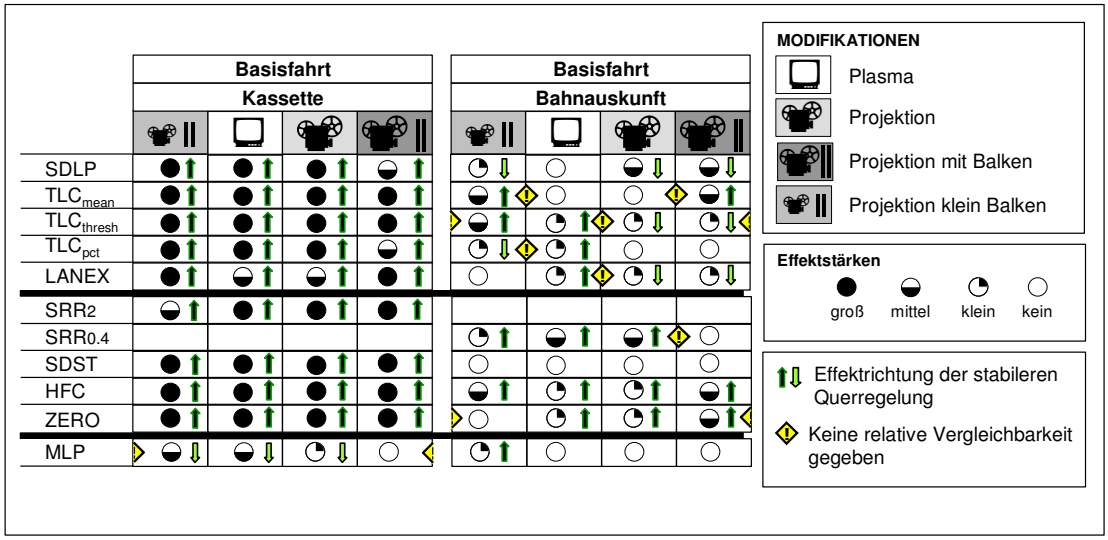

Abbildung 10.4 Effektstärkengruppierung zur Ermittlung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit.

Auch bei dem vorliegenden Experiment zeigte sich eine hohe Sensitivität der Spur- und Lenkmaße für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“. Bei allen vier Modifikationen zeigten sich mittlere und große Effekte mit einer stabileren Querregelung bei der Basisfahrt.

Die Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahnauskunft“ wies hingegen, ähnlich wie bei Experiment 2, ein uneinheitlicheres Bild auf. Innerhalb einer Modifikation waren nur vereinzelte Maße für die sekundäre kognitive Aufgabe „Bahnauskunft“ sensitiv bzw. zeigten einen mittleren Effekt.

Hinsichtlich des Strategiemaßes MLP zeigte sich für drei der vier Simulatormodifikationen, ähnlich wie bei Experiment 2, eine stärkere Ausrichtung am rechten

Spurmarkierungsrand bei der Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“. Im Gegensatz dazu erfolgte durch die Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahnauskunft“, verglichen mit der Basisfahrt, nur bei einer der vier Simulatormodifikationen eine stärkere Ausrichtung zum linken Spurmarkierungsrand.

Die relative Vergleichbarkeit war für die visuell-manuelle Aufgabenbearbeitung, abgesehen von einer Ausnahme bezüglich der MLP, für alle Modifikationen gegeben. Bei der kognitiven Aufgabenbearbeitung war zwischen allen Modifikationen bei jeweils zwei Maßen keine relative Vergleichbarkeit gegeben. Die betroffenen Maße waren TLC_{mean}, TLC_{thresh}, TLC_{pct}, LANEX, $SRR_{0.4}$ und ZERO.

Zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit wurden die Bedingungen in Abbildung 10.5 entsprechend gruppiert. Getrennt nach FAHRT-Stufe sind die resultierenden Effekte für die interessierenden Modifikationsvergleiche aufgetragen.

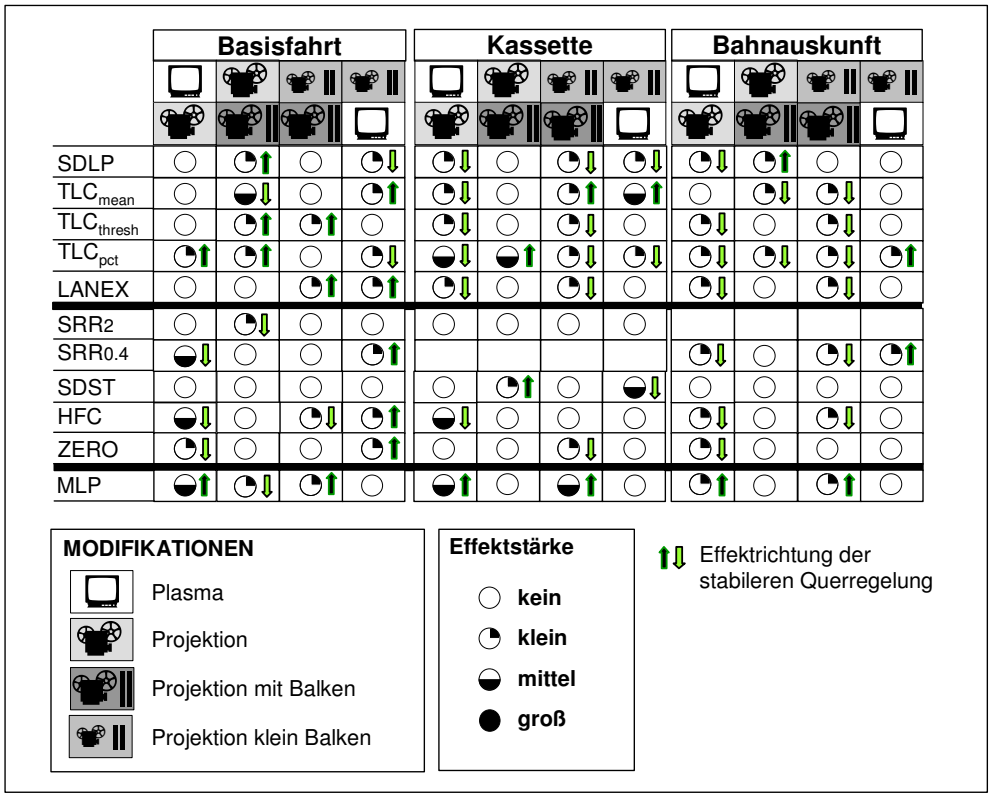

Abbildung 10.5 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit

Die absolute Vergleichbarkeit der Fahrsimulatormodifikationen war, im Vergleich zu Experiment 1 und 2, ziemlich hoch. Einschließlich der MLP war nur in 11 der 124 Fälle ein mittlerer Effekt gegeben, was gemäß Abschnitt 8.3.4 als Verletzung der absoluten Vergleichbarkeit gilt. Diese Verletzungen der absoluten Vergleichbarkeit traten bei der Basisfahrt sowie bei der Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ auf und betrafen die Maße TLC_{mean}, TLC_{pct}, MLP, $SRR_{0.4}$ und HFC. Bei Betrachtung der unmodifizierten Varianten war in sechs der 31 Fälle die absolute Vergleichbarkeit verletzt, was einem Prozentsatz von rund 19% entspricht.

Eine Trendbetrachtung der Effektrichtungen ergab für den Vergleich der unmodifizierten Fahrsimulatorvarianten, mit Ausnahme des Maßes TLC_{pct} für die

Basisfahrt, eine tendenziell stabilere Querregelung für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Bei allen anderen Modifikationsvergleichen traten zu viele gegensätzliche Effektrichtungen auf, als dass von einem Trend gesprochen werden könnte.

Der Vergleich der Sensitivität der Lenkmaße SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ und ZERO ergab, bis auf eine Ausnahme, dass die Effektrichtungen für beide Maße immer gleichsinnig waren und sich nicht um mehr als eine Effektstärkenstufe unterschieden. Der Vergleich der TLC-Berechnungsvarianten lieferte ein eher heterogenes Bild mit Effektrichtungswechseln und Unterschieden um mehr als zwei Stufen bei den Effektstärken.

10.4 Diskussion

Anhand von Experiment 3 wurden die Unterschiede zwischen den Varianten „Plasma“ und „Projektion“ untersucht. Im Rahmen der technischen Möglichkeiten wurden Bildqualität, das Vorhandensein von vertikalen Balken und die Größe des Sichtfeldes variiert. Darüber hinaus war von Interesse, wie sich eine neue sekundäre kognitive Aufgabe und die bereits bekannte visuell-manuelle Aufgabe jeweils im Vergleich zu einer Basisfahrt auf die Querregelung auswirkten. Fremdverkehr war für jede Bedingung zur Steigerung der ökologischen Validität gegeben und die Konfiguration entsprach derjenigen aus Experiment 2. Zur Hypothesenüberprüfung wurden die vier bekannten Maße aus Experiment 1 und 2 herangezogen. Ergänzende Effektstärkenbetrachtungen zur Bestimmung der Sensitivität und Vergleichbarkeit wurden ebenfalls durchgeführt. Das Versuchsdesign war komplett messwiederholt.

Die Fragen wurden mit Hilfe der beiden unmodifizierten statischen Fahrsimulatorvarianten sowie zweier, durch Abdeckungen realisierter, Modifikationen der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ untersucht. Für beide Varianten wurde dieselbe Sitzkiste eingesetzt. Entsprechende Einbauten in der Sitzkiste ermöglichten die Bearbeitung der beiden Aufgaben während der Fahrt. Die Fahrten ohne Aufgabenbearbeitung stellten jeweils die Basisfahrt dar. Die Aufgabenfahrten wurden als einzelne Versuchsfahrten realisiert. Zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten wurden die Probanden den möglichen Reihenfolgen per Losverfahren zugewiesen. Damit für alle eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit gegeben war, nahmen nur Probanden an der Untersuchung teil, die über keinerlei praktische Erfahrungen in einem Fahrsimulator verfügten. Ihnen wurde eine Sollgeschwindigkeit von 120 km/h für alle Fahrten vorgegeben und sie sollten wie unter realen Bedingungen fahren. Die nachfolgende Diskussion der Ergebnisse gliedert sich nach den Hypothesen.

Hypothese 1, welche bei Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ eine instabilere Querregelung im Vergleich zu einer Basisfahrt vermutete, konnte ausnahmslos bestätigt werden. Wie bereits in Experiment 2 zeigten sich hier für alle Spur- und Lenkmaße signifikante Haupteffekte.

Hypothese 2, welche durch die Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahn“ für die SDLP eine Stabilisierung der Querregelung und für die TLC_{mean} und die $SRR_{0.4}$ eine instabilere Querregelung vermutete, musste insgesamt als widerlegt angesehen werden. Für die beiden unmodifizierten Varianten, welche einen direkten Vergleich mit Experiment 2 erlaubten, zeigte ein Vergleich von Basisfahrt und Fahrt mit Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahn“ für die TLC_{mean} überhaupt keinen

Effekt. Signifikante Ergebnisse im Sinne der Hypothese zeigten sich nur bei der $SRR_{0.4}$ für beide Varianten und bei der SDLP für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Da sich die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ von Experiment 2 zu Experiment 3 nicht verändert hatte, kamen zwei Erklärungsansätze für dieses Ergebnis in Frage. Zum einen könnten sich die beiden Versuchspersonengruppen in Experiment 2, trotz der geschilderten Anstrengungen im Hinblick auf die angestrebte Parallelisierung, in einem relevanten Aspekt unterschieden haben. Zum anderen könnte die neue kognitive Aufgabe „Bahn“ die Unterschiede im Fahrverhalten erklären. Diese kognitive Aufgabe könnte, verglichen mit der kognitiven Aufgabe „Rechnen“ aus Experiment 2, eine weniger ausgeprägte Tunnelsicht (vgl. Murata 2004) verursacht und deshalb keinen Unterschied zu der Basisfahrt abgebildet haben.

Hypothese 3, welche für das Vorhandensein von Balken bei identischem Sichtfeld und identischer Auflösung, im Vergleich zu der Variante ohne Balken, eine stabilere Querregelung voraussagte, musste eindeutig als widerlegt angesehen werden. Kein einziges Maß zeigte während der drei Fahrten ein signifikantes Verhalten im Sinne der Hypothese. Eine Betrachtung der Effektstärken zeigte sehr wenige Effekte, die zudem uneinheitlich die Richtung wechselten. Es kann an dieser Stelle nicht einmal von einem Trend gesprochen werden. Das Vorhandensein von Balken scheint bei der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ offensichtlich kein visuelles Merkmal zu sein, welches zu einer stabileren Querregelung beiträgt. Dieser Befund spricht, zumindest für die vorliegende Operationalisierung, gegen die Vermutung von Chatziastros et al. (1999).

Hypothese 4, welche für eine höhere Auflösung bei gleichzeitigem Vorhandensein von vertikalen Balken, insbesondere bei Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe, eine stabilere Querregelung voraussagte, musste ebenfalls als eindeutig widerlegt angesehen werden. Kein einziges der vier Maße zeigte ein signifikantes Ergebnis. Das Vorhandensein der Balken könnte die dominante visuelle Einflussgröße gewesen war, was allerdings aufgrund der Befunde zu Hypothese 3 ebenfalls ausgeschlossen werden kann. Als weitere mögliche Erklärung für dieses unerwartete Ergebnis könnte der Wechsel der Projektionsleinwand herangezogen werden. Offensichtlich verbesserte sich die Bildqualität durch diese Maßnahme so sehr, dass die verbleibenden Unterschiede in der Bildqualität im Hinblick auf die Querregelung nicht mehr ins Gewicht fielen.

Die **Hypothese 5**, dass ein größeres vertikales und horizontales Sichtfeld bei identischer Auflösung und dem Vorhandensein von Querbalken zu einer stabileren Querregelung führt, musste als widerlegt angesehen werden. Kein einziges Maß zeigte für diese Bedingung bei allen drei Fahrten ein signifikantes Ergebnis. Nach diesem Befund schein der, bei dem größeren Sichtfeld vorhandene, Bezug von Motorhaube und Fahrszene keinen Einfluss gehabt zu haben. Eine ergänzende Trendbetrachtung nach Abbildung 10.5 zeigte vor allem für die Lenkmaße und die Aufgabenfahrten eine tendenziell stabilere Querregelung im Sinne der Hypothese. Da sich dieser Trend aber bei einem Maß und der Basisfahrt umkehrte und auch kein einziger mittlerer Effekt vorhanden war, muss diese Trendbetrachtung mit Vorsicht gesehen werden. Die kleinen Effektstärken würden für eine signifikanzstatistische Absicherung eine sehr viel größere Anzahl an Probanden benötigen, falls ein solcher kleiner Effekt überhaupt inhaltlich als bedeutsam eingestuft werden sollte.

Hypothese 6a bezüglich der Einschätzung der Schwierigkeit, bei den unmodifizierten Fahrsimulatorvarianten in der vorgegebenen Spur zu fahren, konnte nicht bestätigt werden. Vielmehr zeigte sich ein signifikantes Ergebnis entgegen der Hypothese. Die Querregelung in der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ wurde von den Probanden als leichter eingestuft. Auch dieses Ergebnis könnte ein Stück weit mit der verbesserten Projektionsleinwand erklärt werden. Fallen die Unterschiede im Hinblick auf die Bildqualität nicht mehr so groß aus, könnten die übrigen Hinweisreize der Variante „Projektion“, wie beispielsweise der stärkere Bezug zwischen Motorhaube und Szenerie, stärker zum Tragen kommen und in Summe das geschilderte Ergebnis bewirken.

Hypothese 6b, welche postulierte, dass Fahrten mit Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe, verglichen mit Fahrten mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung, generell als ablenkender empfunden werden sollten, musste als widerlegt angesehen werden. Nur für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ wurde die visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ als schwieriger eingestuft, was in gewisser Weise auch zu dem Ergebnis von Hypothese 6a passt. Dort wurde die Querregelung in der Variante „Projektion“ als leichter eingeschätzt. Das Fahren in der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ wurde hingegen als schwieriger eingestuft. Mit dem Hinzukommen von Sekundäraufgaben könnte die mit Blickabwendungen verbundene visuell-manuelle Aufgabe von dem Eindruck des „leichteren“ Fahrens in der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ profitiert haben.

Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Das erstaunlichste Ergebnis bei der qualitativen Effektstärkenbetrachtung stellte die Tatsache dar, dass die absolute Vergleichbarkeit zwischen den unmodifizierten Fahrsimulatorvarianten bei Experiment 3 wesentlich besser war als bei Experiment 2. Abgesehen von dem Strategiemaß MLP war die absolute Vergleichbarkeit nur in vier der 36 relevanten Bedingungen aufgrund eines mittleren Effekts verletzt. Besonders negativ trat hier das Maß HFC in Erscheinung, das gleich zweimal, nämlich bei der Basisfahrt und bei der Bearbeitung der sekundären visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ für eine Verletzung sorgte. Die bessere absolute Vergleichbarkeit könnte auf den Austausch der Projektionsleinwand zurückzuführen sein. Auch könnten in Experiment 2 Unterschiede in den parallelisierten Stichprobengruppen, welche kein Gegenstand des demografischen Fragebogens waren, zu einer schlechten absoluten Vergleichbarkeit beigetragen haben.

Auffällig war auch die beinahe komplette Effektrichtungsumkehr zugunsten der Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Während in Experiment 2 alle Effektrichtungen bei Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung und bei Basisfahrten eine stabilere Querregelung für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ andeuteten, ließen die Effektrichtungen bei Experiment 3, bis auf eine Ausnahme, eine stabilere Querregelung für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ vermuten. Ausgehend von der Annahme, dass dieser recht auffällige Trend durch den Tausch der Projektionsleinwand zustande gekommen sein könnte, müsste der Grund in der unterschiedlichen optischen Beschaffenheit der Projektionsoberfläche gelegen haben. Leider stand die ursprüngliche Projektionsleinwand für Vermessungen nicht mehr zur Verfügung, so dass nur vermutet werden kann, dass diese Unterschiede in Leuchtdichte und Kontrast bestanden haben könnten. Dies ist vor dem Hintergrund der Ergebnisse von Owens & Tyrrell (1999) und McKnight et al. (1998)

bemerkenswert, welche einen Einfluss von Leuchtdichte und Kontrast erst bei Extrembedingungen feststellten. Die Erkenntnisse aus Experiment 3 beruhten zwar auf qualitativen Betrachtungen, trotzdem können Wechsel von mittleren Effekten (Experiment 2) zu kleinen Effekten in die andere Richtung (Experiment 3) als bedeutsame Veränderung interpretiert werden.

Die in Experiment 2 gefundene stabilisierende Wirkung einer kognitiven Aufgabe zeigte sich in Experiment 3 nicht mehr durchgängig, wie schon in der Diskussion zu Hypothese 2 erläutert. Hinsichtlich der Effektrichtung bildeten aber zumindest die Lenkmaße die postulierte stabilere Querregelung für die Basisfahrt ab. Die Spurmaße zeigten hingegen, abgesehen von der SDLP und der TLC_{mean} einen uneinheitlichen Trend. Dies sprach dafür, dass sich die beiden kognitiven Aufgaben hinsichtlich ihrer Schwierigkeit unterschieden haben könnten.

Der Einfluss der Aufgabenbearbeitung zeigte sich bei der MLP für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ nicht ganz so ausgeprägt wie bei Experiment 2. Für die kognitive Aufgabe zeigte sich sogar weder für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ noch für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ ein Effekt, was als Hinweis für einen Unterschied in der Qualität der kognitiven Aufgabe „Bahn“ im Vergleich zu der kognitiven Aufgabe „Rechnen“ (vgl. Experiment 2) gesehen wurde. Bei dem Vergleich der Fahrsimulatormodifikationen ließ sich vorsichtig feststellen, dass ein kleines Sichtfeld mit Balken eher eine Ausrichtung zur rechten Spurmarkierung bewirkte. Alle Vergleiche von „Plasma“ vs. „Projektion“ und „Projektion mit Balken“ vs. „Projektion klein Balken“ zeigten diese Ausrichtung in kleinen und mittleren Effekten. Alle anderen Vergleiche, abgesehen von dem kleinen Effekt bei „Projektion“ vs. „Projektion mit Balken“, zeigten keinen Effekt.

Die Sensitivität der Maße für die visuell-manuelle Aufgabe war, wie bereits bei Experiment 2, mit beinahe durchgängig großen und einigen wenigen mittleren Effekten für alle Maße gegeben. Bei der kognitiven Aufgabe unterschied sich die Sensitivität der Maße oftmals um mehr als eine Effektstufe und zeigte in einigen Fällen sogar eine Effektrichtungsumkehr. Die relative Vergleichbarkeit war für die visuell-manuelle Aufgabe in allen Fällen gegeben. Bei der kognitiven Aufgabe, die auch schon bei der Sensitivität innerhalb einer Bedingung große Unterschiede zeigte, war in immerhin acht Fällen die relative Vergleichbarkeit verletzt. Nachdem bei diesem Experiment keine nicht intendierten Unterschiede im Lenkwiderstand gegeben waren, und auch die gefahrene Strecke identisch war, liegt der Schluss nahe, dass hier die Fahrsimulatormodifikation einen, wenn auch unsystematischen, Einfluss auf die Querregelung bei Bearbeitung der kognitiven Bahnaufgabe haben könnte. Die interessante Frage, die sich hier stellte, war, warum sich diese Verletzungen bei der visuell-manuellen Aufgabe nicht zeigten. Dabei könnte es sich um einen Deckeneffekt gehandelt haben. Jenseits der Effektstufe „groß“ fand keine weitere Ausdifferenzierung mehr statt, so dass die hohe Aufgabenschwierigkeit mit Blickabwendungen von der Fahrbahn durchgängig für die großen Effekte sorgte und ein Einfluss der Modifikation nicht mehr sichtbar wurde.

Zu den Berechnungsvarianten lässt sich sagen, dass die Maße ZERO und SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$, abgesehen von einer Ausnahme, vergleichbare Ergebnisse lieferten. Sie unterschieden sich meistens nur um eine Effektstufe. Wurden die anderen Maße mit in die Betrachtung einbezogen, war es aber schwierig zu sagen, welches der beiden Maße nun

„recht“ hatte. Der Vergleich der drei TLC-Berechnungsvarianten zeigte für den visuell-manuellen Fall beinahe durchgängig große Effekte mit identischer Richtung. Im Falle der kognitiven Aufgabenbearbeitung hingegen wiesen die drei Berechnungsvarianten bei zwei der vier betrachteten Modifikationen ein widersprüchliches Bild mit Sprüngen der Effektstärke um mehr als eine Stufe, was den Schluss nahe legte, dass diese drei Berechnungsvarianten nicht vergleichbar sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Außer Hypothese 2 mussten alle Hypothesen als widerlegt angesehen werden. Der Einfluss der visuell-manuellen Aufgabe erwies sich auch in Experiment 3 bei den unterschiedlichen Modifikationen als sehr stark. Bei der kognitiven Aufgabe zeigten sich hingegen, auch vom Trend her, höchst uneinheitliche und eher kleine Effekte. Da hier die Effektrichtungen bei den Spurmaßen noch uneinheitlicher ausfielen als bei Experiment 2 und sich insbesondere der stabilisierende Effekt der kognitiven Aufgabe „Bahn“ bei der unveränderten Fahrsimulatorvariante „Plasma“ nicht mehr nachweisen ließ, wurde vermutet, dass sich diese Aufgabe in ihrer Wirkung grundlegend von der kognitiven Aufgabe „Rechnen“ aus Experiment 2 unterschied.

Die generelle Verbesserung der absoluten Vergleichbarkeit wies auf einen Einfluss der neuen Projektionsleinwand hin. Dennoch konnte auch nicht ausgeschlossen werden, dass durch das „between“ Design in Experiment 2 im demografischen Fragebogen nicht erfasste, versuchspersonenbedingte Unterschiede in den Gruppen für das tendenziell bessere Abschneiden der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ verantwortlich gewesen waren.

Aus diesen Gründen wurde ein weiteres Experiment durchgeführt, welches durch einen direkten Vergleich gezielt mögliche Unterschiede zwischen den beiden kognitiven Aufgaben herausfinden sollte. Außerdem wurde in anderer Operationalisierung die Sichtfeldeinschränkung aus Experiment 1, welches über nicht intendierte Unterschiede im Lenkwiderstand verfügt hatte, wiederholt.

11 Experiment 4: „Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung, Fahrsimulatorvariante und peripherem Sehen auf die Querregelung“

11.1 Ziel der Untersuchung

Das Experiment sollte Größe und Richtung von vier Einflussfaktoren bestimmen. Drei der Einflussfaktoren, die statische Fahrsimulatorvariante, die Bearbeitung von unterschiedlichen sekundären Aufgaben während des Fahrens sowie das Fehlen von peripheren Informationen, wurden von den vorherigen Experimenten aufgegriffen. Als neuer Aspekt kam die Untersuchung des Einflusses des Nahbereichs hinzu.

Sekundäre Aufgabenbearbeitung: Der Einfluss von sekundärer Aufgabenbearbeitung während des Fahrens sollte, bezogen auf eine Basisfahrt, weiterführend analysiert werden. Als sekundäre Aufgaben dienten sowohl die bereits aus Experiment 2 und 3 bekannte „**Task visuell-manuell**“, also das Wechseln der Kassette, als auch die „**Task kognitiv (Rechnen)**“ aus Experiment 2 und die „**Task kognitiv (Bahn)**“ aus Experiment 3. Bei der sekundären visuell-manuellen Aufgabe sollte überprüft werden, ob die instabilere Querregelung von Experiment 2 und 3 repliziert werden konnte. Bei den beiden kognitiven Aufgaben sollte in einem direkten Vergleich festgestellt werden, ob sich die beiden kognitiven Aufgaben tatsächlich in ihrer Wirkung auf die Querregelung unterschieden.

Fahrsimulatorvariante: Der Einfluss der statischen Fahrsimulatorvariante in den beiden bekannten Ausprägungen „**Plasma**“ und „**Projektion**“ sollte weiterführend untersucht werden. Von Interesse war hierbei vor allem, ob die tendenzielle Überlegenheit der Variante „Projektion“ repliziert werden konnte.

Peripheres Sehen: Neben den visuellen Informationen, welche die beiden Varianten standardmäßig umfassten („**Standard**“), wurde untersucht, inwieweit periphere Informationen für eine stabile Querregelung notwendig sind. Die Sichtfeldeinschränkung wurde hier nicht, wie bei Experiment 1, über eine angepasste Refraktionsbrille realisiert, sondern durch softwareseitige Maskierungen der Fahrszene, die einen starren 5 Grad-Ausschnitt ermöglichten („**5 Grad**“). Anhand dieser softwareseitige Maskierung konnte durch zusätzliches Einblenden eines schmalen Balkens im unteren Bereich der Fahrszene („**Trapez**“) der Einfluss des Nahbereichs auf die Querregelung untersucht werden. Dieser Nahbereich hatte nach Land und Horwood (1995) eine stabilisierende Wirkung. Eine Replikation des Versuchs mit besserer Grafik und besserer Fahrsimulator-Hardware ergab bei Chatziastros et al. (1999) keine derartige Wirkung. Vor diesem Hintergrund erschien es lohnend, die Wirkung des Nahbereichs weiterführend zu untersuchen.

Alle Probanden fuhren in beiden statischen Fahrsimulatorvarianten, jeweils unter drei Sichtbedingungen. Unter jeder dieser Sichtbedingungen absolvierten sie drei Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung sowie eine Basisfahrt.

Die Bestimmung der Größe und Richtung der vier Einflussfaktoren erfolgte anhand von objektiven und subjektiven Daten. Die objektiven Daten bildeten alle betrachteten

Lenk- und Spurmaße (vgl. Kapitel 5), welche gemäß Kapitel 7 berechnet wurden. Anhand von qualitativen Betrachtungen sollten zusätzlich Aussagen über die Sensitivität aller betrachteter Lenk- und Spurmaße getroffen werden und eine Abschätzung erfolgen, inwieweit bei den beiden statischen Fahrsimulatorvarianten absolute und relative Vergleichbarkeit gegeben war. Die subjektiven Daten wurden mit Hilfe von Fragebögen und mündlichen Zwischenfragen erhoben. Aufbauend auf den bisherigen Ausführungen wurden folgenden Hypothesen überprüft.

Hypothese 1: Analog zu den Befunden in Experiment 2 und 3 wurde für beide Fahrsimulatorvarianten erwartet, dass die Fahrt mit einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe, im Vergleich zu einer Basisfahrt, unter allen Sichtbedingungen aufgrund der Blickabwendungen insgesamt instabiler ausfallen sollte.

Hypothese 2: Für die beiden sekundären kognitiven Aufgaben wurde, unabhängig von der Fahrsimulatorvariante, unter der Sichtbedingung „Standard“ unterschiedliche Auswirkungen auf die betrachteten Maße erwartet. Eine Fahrt mit Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe „Rechnen“ sollte im Vergleich zu einer Basisfahrt für das Spurmaß SDLP eine stabilere Querregelung bewirken. Das Spurmaß TLC_{mean} sowie das Lenkmaß $SRR_{0.4}$ sollte dagegen instabiler ausfallen. Dieser Zusammenhang wurde aufgrund der Ergebnisse von Engström et al. (2005) sowie der Befunde aus Experiment 2 vermutet. Die sekundäre kognitive Aufgabe „Bahn“ sollte sich, gemäß der Befunde aus Experiment 3, hinsichtlich der Querregelung nicht bedeutsam von einer Basisfahrt unterscheiden.

Hypothese 3a: Analog zu Experiment 1 wurde, unabhängig von der Fahrsimulatorvariante, davon ausgegangen, dass die Querregelung während einer Basisfahrt unter der Sichtbedingung ohne periphere Informationen („5 Grad“), im Vergleich zu der jeweiligen Sichtbedingung „Standard“, instabiler ausfallen sollte. Durch diese simulierte Tunnelsicht sollte periphere Information fehlen, die sonst zur Feinsteuerung der Lenkaufgabe herangezogen werden kann (vgl. Land & Horwood, 1995).

Hypothese 3b: Für beide Fahrsimulatorvarianten sollte die Querregelung während einer Basisfahrt unter der Sichtbedingung ohne periphere Informationen („5 Grad“) instabiler ausfallen als unter der Bedingung mit einem zusätzlichen Sichtausschnitt im Nahbereich („Trapez“). Diese stabilisierende Wirkung sollte auf die zusätzliche Einblendung des Nahbereichs zurückzuführen sein (vgl. Land & Horwood, 1995).

Hypothese 3c: Für beide Fahrsimulatorvarianten wurde vermutet, dass die Querregelung während einer Basisfahrt unter der Bedingung mit einem zusätzlichen Sichtausschnitt („Trapez“) nicht signifikant instabiler ausfallen sollte als unter der Sichtbedingung „Standard“. Der zusätzlich eingeblendete Nahbereich und der zentrale Ausschnitt von 5 Grad sollten alle relevanten Informationen für die Querregelung enthalten (vgl. Land & Horwood, 1995). Hinsichtlich der Querregelung sollte sich diese Konfiguration deshalb nicht so sehr von der vollen Sicht („Standard“) unterscheiden.

Hypothese 4: Fahrten mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung sollten unter der Sichtbedingung „Standard“, unabhängig von der Fahrsimulatorvariante, im Vergleich zu den Fahrten mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung „Rechnen“ bzw. „Bahn“ als ablenkender empfunden werden. Es wurde davon ausgegangen, dass

manuelle Handlungsschritte der Aufgabenbearbeitung, verbunden mit Blickabwendung, auch hinsichtlich der Beurteilung der Ablenkungswirkung, verglichen mit einer rein kognitiven Aufgabe, stärker ins Gewicht fallen sollten. Aufbauend auf dem Modell von Wickens (1984) wurde darüber hinaus vermutet, dass sich die Nutzung desselben Sinneskanals, wie es bei der visuell-manuellen Aufgabe und der primären Fahraufgabe gegeben ist, ebenfalls bei der Beurteilung der Ablenkungswirkung niederschlagen sollte.

Hypothese 5: Die subjektive Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, sollte, unabhängig von der Fahrsimulatorvariante, unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Bedingung „Trapez“ als schwieriger beurteilt werden. Da aufbauend auf Land und Horwood (1995) davon ausgegangen wurde, dass der Nahbereich für eine stabile Querregelung bei einer höheren Geschwindigkeit essentiell ist, wurde auch vermutet, dass sich dieses Fehlen in der subjektiven Beurteilung niederschlagen sollte. Fahrten unter der Bedingung „Trapez“ sollten ebenfalls bei beiden Varianten, im Vergleich zu Fahrten unter der Bedingung „Standard“, als signifikant schwieriger beurteilt werden. Es wurde davon ausgegangen dass sich der ungewohnte Fahreindruck in der Schwierigkeitsbeurteilung niederschlagen sollte, auch wenn laut Land und Horwood (1995) alle relevanten visuellen Informationen für die Querregelung gegeben waren.

11.2 Methode

11.2.1 Versuchspersonen

Für dieses Experiment wurden aufgrund der untersuchungsübergreifenden Betrachtungen wiederum Fahrsimulator-Neulinge als Probanden gewählt. Wie bei Experiment 3 wurden nur Männer als Probanden zugelassen. Die Stichprobe setzte sich aus 28 jungen Probanden zusammen. Keiner dieser Probanden fiel währen der Datenerhebung aus. Der Altersdurchschnitt lag bei 25.3 Jahren (SD=1.8 Jahre). Der jüngste Proband war 22 Jahre alt, der älteste 30.

Von den 28 Probanden verfügten insgesamt 20 über einen technischen Hintergrund. Fünf Probanden gehörten dem Wirtschaftsingenieursbereich an, zwei hatten einen kaufmännischen Hintergrund und ein Proband konnte keiner dieser Kategorien zugeordnet werden.

Der durchschnittliche Führerscheinbesitz lag bei 7.3 Jahren (SD=1.7 Jahre). Die Verteilung der Fahrleistung der Probanden kann Tabelle 11.1 entnommen werden.

Tabelle 11.1 Fahrleistung der Probanden

	Km pro Jahr			
	< 5000	**5000 – 10000**	**10000 – 20000**	**> 20000**
Anzahl Probanden	3	9	10	6

Mit 67.8% der Probanden in den beiden mittleren Kategorien wurde die vorliegende Stichprobe zum einen als geeignet für die Untersuchung und zum anderen als vergleichbar zu den Stichproben der vorherigen Experimente eingestuft.

Insgesamt neun der 28 Probanden gaben an, sowohl den PC, das Touchpad am Notebook, ein Mobiltelefon und ein Navigationssystem im PKW privat oder beruflich zu nutzen. Weitere neun Probanden gaben an, drei der vier genannten Geräte zu nutzen. Die verbleibenden zehn Probanden nutzen nach eigenen Angaben immerhin die Hälfte der aufgelisteten Geräte privat oder beruflich.

Von den 28 Probanden spielten 17 Probanden nach eigenen Angaben privat Computerspiele, aber nur knapp jeder fünfte selten auch mittels eines Spielelenkrades. Bedeutsame Unterschiede zwischen den Probanden aufgrund unterschiedlicher Übung im Umgang mit Computerspielen mit Spielelenkrädern wurden anhand der Daten nicht gesehen.

Von den 28 Probanden gaben drei an, privat ein Auto der Marke BMW zu fahren. Insgesamt 18 Probanden fuhren nach eigenen Angaben privat Autos von Mitbewerbern. Weitere fünf Probanden gaben an, privat Autos verschiedener Hersteller zu fahren. Zwei Probanden stand privat kein Auto zur Verfügung.

Probanden, die eine Sehhilfe benötigten, brachten diese zum Versuch mit. Alle Versuchsteilnehmer hatten bis zu dieser Untersuchung keine Erfahrung mit Fahrsimulatoren und waren zum Datenerhebungszeitpunkt bei der BMW Group angestellt. Die Versuchsteilnahme erfolgte innerhalb der regulären Arbeitszeit und aus Interesse an der Untersuchung.

11.2.2 Versuchsplan

Es gab insgesamt 24 Bedingungen, aufgeteilt auf zwei Sitzungen, welche von allen Probanden absolviert wurden. Für beide Fahrsimulatorvarianten gab es jeweils drei Sichtbedingungen („Standard“, „Trapez“ und „5 Grad“). Für alle drei Sichtbedingungen durchliefen die Probanden drei Fahrten mit unterschiedlichen sekundären Aufgaben sowie die Basisfahrten. Eine Sitzung bestand aus allen 12 Bedingungen für eine Fahrsimulatorvariante. Die zweite Sitzung verlief analog, wobei die Fahrten in der jeweils anderen Fahrsimulatorvariante stattfanden.

Im Rahmen von Experiment 4 wurden somit drei Variablen unabhängig voneinander variiert. Der Faktor VARIANTE war zweifach gestuft und bestand aus den beiden Fahrsimulatorvarianten („Projektion“ vs. „Plasma“). Der Faktor SICHT war dreifach gestuft mit den Ausprägungen „Standard“, „Trapez“ und „5 Grad“. Der Faktor FAHRT war mit den Stufen „Basis“ vs. „Task visuell-manuell“ vs. „Task kognitiv“ (Bahn) vs. „Task kognitiv“ (Rechnen) insgesamt vierfach gestuft.

Daraus ergab sich ein 2 (VARIANTE) x 3 (SICHT) x 4 (FAHRT) Versuchsplan mit vollständiger Messwiederholung, welcher in Tabelle 11.2 zusammenfassend dargestellt ist.

Tabelle 11.2 Versuchsplan für Experiment 4

		VARIANTE					
		„Plasma“			„Projektion“		
		SICHT			**SICHT**		
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
FAHRT	„Basis“	28 Pbn					
	„Task visuell-manuell“						
	„Task kognitiv“ (Bahn)						
	„Task kognitiv“ (Rechnen)						

Die Sichtbedingung „Standard“ bestand jeweils aus der Größe des Sichtfeldes, welche beide Varianten standardmäßig umfassten. Das vertikale Sichtfeld fiel unter dieser Sichtbedingung für die Variante „Projektion“, für welche die drei Sichtbedingungen in Abbildung 11.1 exemplarisch dargestellt sind, größer aus.

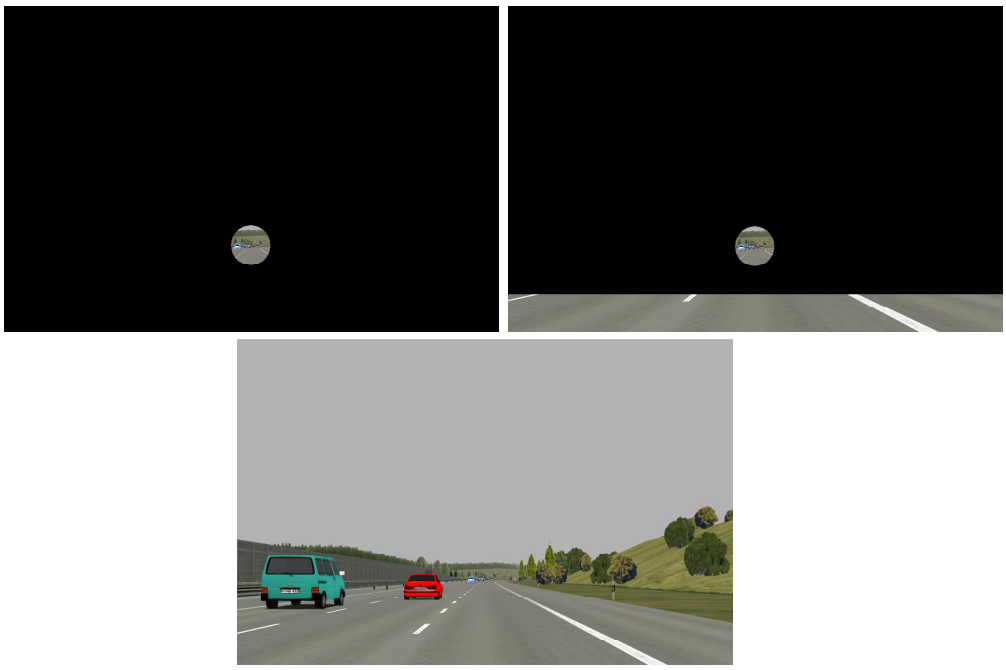

Abbildung 11.1 Sichtbedingungen „5 Grad“ (links), „Trapez“ (rechts) und „Standard“ (unten) für die Variante „Projektion“

Für die Sichtbedingung „5 Grad“ wurde das Sichtfeld, abgesehen von einem entsprechenden Kreisausschnitt um den Fluchtpunkt herum, komplett abgedeckt. Dieser

Kreisausschnitt war so gewählt, dass insgesamt ein Sehwinkel von 5 Grad resultierte. Dem Fahrer stand damit nur noch einer von zwei Bezugspunkten für die Querregelung zur Verfügung (vgl. Land & Horwood, 1995). Eine parallele periphere Informationsverarbeitung war für beide Varianten ausgeschaltet. Anders als bei Experiment 1 war der sichtbare Ausschnitt fixiert und konnte nicht durch entsprechende Kopfbewegungen verändert werden (vgl. Abbildung 11.1). Unter dieser Bedingung verfügten beide Varianten über exakt gleich viele visuelle Informationen im vertikalen Bereich.

Die Sichtbedingung „Trapez“ setzte sich aus dem Kreis von 5 Grad um den Fluchtpunkt und der vertikalen Information des unteren mittleren Bildschirms bzw. der unteren mittleren Projektionswand zusammen. Die Größe dieses unteren Bereiches wurde so bestimmt, dass bei beiden Varianten jeweils 3 Grad, zwischen dem Kreis von 5 Grad und dem unteren Bereich, abgedeckt wurden. Mit dieser Maßnahme bleiben genau die beiden Abschnitte in der Szenerie sichtbar, welche laut Befunden aus der Literatur für die Querregelung herangezogen werden (vgl. Land und Horwood, 1995). Beispielhaft ist der visuelle Eindruck für die Variante „Projektion“ in Abbildung 11.1 dargestellt, welche unter der Sichtbedingung „Trapez“ mehr visuelle Informationen lieferte als die Variante „Plasma“.

Drei unterschiedliche sekundäre Aufgaben kamen zum Einsatz. Die sekundäre Aufgabe „Task kognitiv“ (Rechnen) wurde bei diesem Experiment, wie in Experiment 2 beschrieben, durchgeführt. Den Probanden wurde eine Startzahl genannt, von der sie fortlaufend sieben subtrahieren sollten. Ihr Zwischenergebnis sollten sie jeweils laut nennen. Zur Vorbeugung von Lerneffekten begannen die Probanden bei jedem Durchgang mit einer neuen Zahl. Die Zahlen waren so gewählt, dass sie keine Vielfachen von Sieben darstellten. Mit Hilfe dieses Vorgehens war sichergestellt, dass alle Probanden gleichermaßen rechnen mussten und nicht auf unterschiedlich gut abgespeichertes Wissen zurückgreifen konnten. Bei den Startzahlen handelte es sich um die Zahlen 211, 263, 331, 382, 437 und 488. Die Reihenfolge dieser Startzahlen wurde den Versuchspersonen per Zufall zugewiesen, um Reihenfolgeeffekte ausschließen zu können. Die Wahl und Realisierung der Aufgabe „Task kognitiv“ (Bahn) entsprach den Ausführungen von Experiment 3 (vgl. Abschnitt 10.2.2). Ein Durchgang stellte die Abfrage einer Zugverbindung dar. Die Motivation und die Gründe für die Realisierung der Aufgabe „Task visuell-manuell“ entsprachen denjenigen von Experiment 2 (vgl. Abschnitt 9.2.2). Die Aufgabe war einmal bearbeitet, sobald die Kassette zweimal unmittelbar hintereinander gewechselt worden war.

Die Basisfahrt sowie die Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung „Task visuell-manuell“ wurden jeweils wiederholt. Die anderen beiden FAHRT-Stufen „Task kognitiv“ (Bahn) und „Task kognitiv“ (Rechnen) wurden aus Zeitgründen nur einmal durchlaufen. Ein Proband absolvierte pro Sitzung, abgesehen von der Eingewöhnungsfahrt, insgesamt 18 Einzelfahrten, welche jeweils ca. vier Minuten dauerten. Zur Vermeidung von Reihenfolge- und Übungseffekten begann die eine Hälfte der Probanden in der ersten Sitzung mit der Variante „Plasma“ und die andere Hälfte mit der Variante „Projektion“. Die Reihenfolge für die vier Stufen des Faktors FAHRT und die drei Stufen des Faktors SICHT war innerhalb dieser beiden Gruppen über alle Probanden ausbalanciert. Die Probanden wurden den einzelnen Reihfolgen zufällig zugewiesen.

Als objektive abhängige Variablen wurden die vier Lenk- und Spurmaße herangezogen, die sich bereits bei den vorherigen Experimenten für die Hypothesenprüfung bewährt hatten: „Standardabweichung der lateralen Position“ (SDLP), eine Berechnungsvariante der „Time to Line Crossing“ (TLC_{mean}), „Standardabweichung des Lenkwinkels“ (SDST), „Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute Gap 2 (SRR_2) bzw. Gap 0.4 ($SRR_{0.4}$). Ausgewählte Fragebogendaten bzw. Antworten auf mündliche Fragen bildeten die subjektiven abhängigen Variablen (vgl. Fragebogen D2).

Für die Beurteilung der Sensitivität der einzelnen Maße wurden alle Maße herangezogen (vgl. Abschnitt 5.1 und 5.2). Auf der Seite der Lenkmaße handelte es sich um die „Anzahl der Nulldurchgänge“ pro Kilometer (ZERO) und den „Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels“ (HFC). Die Spurmaße setzten sich aus der „Mittleren lateralen Position“ (MLP), der „Anzahl der Spurüberschreitungen“ pro Kilometer (LANEX) sowie zwei weiteren Berechnungsvarianten der „Time to Line Crossing“ (TLC_{thresh} und TLC_{pct}) zusammen.

11.2.3 Material und Geräte

Auch bei diesem Experiment fanden die in Kapitel 7 beschriebenen statischen Fahrsimulatorvarianten Verwendung. Die Verringerung des Sichtfeldes wurde in diesem Fall für beide Simulatorvarianten komplett softwareseitig realisiert. Für die Sichtbedingung „Standard“ war keine Abdeckung erforderlich. Für die Sichtbedingung „5 Grad“ wurde das Sichtfeld, abgesehen von einem entsprechenden Kreisausschnitt um den Fluchtpunkt herum, komplett abgedeckt (vgl. Abbildung 11.1). Die Sichtbedingung „Trapez“ setzte sich aus dem Kreis von 5 Grad um den Fluchtpunkt und der vertikalen Information des unteren mittleren Bildschirms bzw. der unteren mittleren Projektionswand zusammen. Die übrigen Teile der Szenerie wurden softwareseitig abgedeckt (vgl. Abbildung 11.1).

Da ein wichtiges Ziel darin bestand, eine gewisse Vergleichbarkeit über alle vier Experimente hinweg sicherzustellen, wurde die gefahrene Strecke, die Konfiguration des Fremdverkehrs sowie der Startpunkt für Versuchsfahrten und für die Eingewöhnungsfahrt, ohne Modifikationen, von Experiment 2 übernommen. Die einzelnen Bedingungen wurden anhand einzelner Durchgänge realisiert. Die gefahrene Strecke pro Fahrt mit Aufgabenbearbeitung bzw. Basisfahrt war identisch zu Experiment 3 (siehe Abbildung 9.1 in Abschnitt 9.2.3).

Für die Bearbeitung der sekundären Aufgabe „Task visuell-manuell“ war das CARIN–System im Einsatz (vgl. Experiment 2). Die Realisierung der sekundären Aufgabe „Task kognitiv“ (Bahn) war identisch zu derjenigen in Experiment 3. Die Versuchspersonen telefonierten mittels Head Set. Sie erhielten Karten mit den relevanten Informationen (vgl. Tabelle 10.5 in Abschnitt 10.2.3). Die umgedrehten Karten wurden zusammen mit den Kassettenhüllen auf dem Beifahrersitz platziert (siehe Abbildung 9.2 in Abschnitt 9.2.3).

Zur Erfassung des subjektiven Eindrucks und der demografischen Daten kamen zwei Fragebögen (D1 und D2 siehe Anhang A.4) zum Einsatz, welche Anpassungen der bisherigen Fragebögen an das vorliegende Experiment darstellten. Weitere fünf Fragen wurden jeweils nach einer Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung mündlich gestellt (vgl. Experiment 3 und Anhang A.4).

11.2.4 Versuchsdurchführung und Instruktion

Der Versuch fand im Zeitraum vom 04.09.06 – 25.09.06 im „Zentrum für Fahrsimulation und Usability“ in München statt und wurde vollständig von einem Praktikanten durchgeführt. Der erste der beiden 1.5stündigen Versuchstermine begann nach der Begrüßung mit dem Ausfüllen des Fragebogens D1.

Im Anschluss daran wurde der Proband in die jeweilige Fahrsimulatorvariante eingewiesen. Nach dem Anpassen der Sitzeinstellung wurde überprüft, ob die Augenhöhe des Probanden mit den vorgegebenen 1.20 Metern übereinstimmte. Der Proband konnte sich im Rahmen einer fünfminütigen Eingewöhnungsfahrt mit der jeweiligen Variante vertraut machen. Dabei lernte er auch den akustischen Hinweisreiz bei zu großen Abweichungen von der vorgegebenen Geschwindigkeit von 120km/h kennen. Nach dieser Fahrt gaben alle Probanden an, sich ausreichend auf den Versuch vorbereitet zu fühlen.

Nun wurde dem Probanden erläutert, dass er im Rahmen des Versuchs drei unterschiedliche Aufgaben bearbeiten sollte. Für die visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ wurde der Proband in das CARIN - System eingewiesen. Ihm wurde der Zweck der leeren und der vollen Kassettenhülle auf dem Beifahrersitz erläutert. Dem Probanden wurde einmal gezeigt, wie er die sich bereits im Kassettenschacht befindende „Kassette 1“ aus dem Kassettenschacht entnehmen, in ihre Hülle legen und die Hülle schließen sollte. Das Schließen des Kassettendecks erfolgte nach einem kurzen Zeitintervall automatisch. Im Anschluss daran sollte der Proband „Kassette 2“ aus ihrer Hülle nehmen und mit der zweiten Seite nach oben in den Kassettenschacht einführen. Damit war die Aufgabe einmal vollständig bearbeitet. Für den nächsten Durchgang sollte dann entsprechend „Kassette 2“ entnommen und wieder „Kassette 1“ mit der ersten Seite nach oben in den Kassettenschacht eingeführt werden. Nachdem der VL die Aufgabe einmal vorgeführt hatte, bekam der Proband die Möglichkeit, die Aufgabe selbständig im Stand zu üben. Sobald der Proband angab, sich bezüglich der Aufgabenbearbeitung sicher zu fühlen, wurde er darauf hingewiesen, dass er die Aufgabe während des Versuchs jeweils zweimal unmittelbar hintereinander nach Aufforderung durch den VL bearbeiten sollte.

Sobald alle Fragen zu dieser Aufgabe geklärt waren, erläuterte der VL das Prinzip der sekundären Aufgabe „Task kognitiv“ (Bahn). Dazu wurde der Proband zunächst in das Ziel der Aufgabe, Zweck und Aufbau der Karten sowie die Bedienung des Telefons eingeführt. Der Proband wurde darauf hingewiesen, dass sich der Modus „Abfahrtszeit“ während des Versuchs nicht änderte. Zu Übungszwecken durchlief der Proband einmal vollständig den Dialog. Der Proband wurde darauf hingewiesen, dass er sich die einzelnen Verbindungen vor dem eigentlichen Aufgabenbeginn einprägen müsse.

Für die sekundäre Aufgabe „Task kognitiv“ (Rechnen) wurde der Proband darauf hingewiesen, dass er, bei einer vorgegebenen Zahl beginnend, immer sieben subtrahieren und das jeweilige Ergebnis laut aussprechen sollte. Dies sollte er so lange tun, bis die Aufgabe von dem VL beendet wurde. Für den Fall, dass er die Null erreichen sollte, bevor die Aufgabe beendet worden war, sollte er die 7er Subtraktionen im negativen Zahlenbereich fortsetzten. Diese Aufgabe wurde im Vorfeld nicht geübt.

Sobald alle Fragen von Seiten des Probanden geklärt waren, wurde er für die 18 jeweils 4minütigen Versuchsfahrten folgendermaßen mündlich über das Mikrofon

instruiert: *„Ich bin daran interessiert, herauszufinden, wie Simulator-Neulinge beim Fahren in einem Fahrsimulator zurechtkommen. Aus diesem Grund möchte ich Sie bitten, möglichst konzentriert mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h in der von mir vorgegebenen Spur zu fahren und die entsprechenden Aufgaben zu bearbeiten, sobald ich Sie dazu auffordere. Sobald Sie von dieser Geschwindigkeit zu sehr abweichen, werden Sie akustisch darauf aufmerksam gemacht und müssen unverzüglich eine Geschwindigkeitskorrektur gemäß Tacho vornehmen. Auch wenn keine Gefahr bezüglich Unfällen besteht, möchte ich Sie bitten, so sorgfältig und konzentriert zu fahren, wie Sie es bei einer realen Autofahrt auch tun würden. Außerdem möchte ich Sie bitten, mir rechtzeitig Bescheid zu geben, falls Sie sich nicht mehr gut fühlen sollten.“*

Darüber hinaus wurde der Proband darauf hingewiesen, dass es bei der Aufgabenbearbeitung um eine sorgfältige Erledigung der Aufgabe, im Einklang mit der Fahraufgabe ging. Es wurde betont, dass nicht die Beurteilung der jeweiligen Befähigung von Interesse war, sondern eine allgemeine Untersuchung von Fahrsimulator-Neulingen in einem solchen Fahrversuch. Abschließend wurde noch einmal hervorgehoben, dass die Fahraufgabe immer an erster Stelle stehen solle und die Aufgabenbearbeitung an zweiter.

Nun begann der Proband unter der ersten Sichtbedingung mit der ersten Versuchsfahrt. Nach jeder Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung beantwortete der Proband mündlich fünf Fragen. Im Anschluss an alle sechs Versuchsfahrten unter der ersten Sichtbedingung beurteilte der Proband die jeweilige Sichtbedingung anhand des Fragebogens D2. Nach jeweils einer kurzen Pause wurde dieses Vorgehen für die beiden anderen Sichtbedingungen wiederholt. Mit der Verabschiedung endete der erste der beiden Versuchstermine. Der zweite Termin verlief identisch, wobei die Fahrsimulatorvariante wechselte, das Ausfüllen des demografischen Fragebogens D1 entfiel und die Eingewöhnungsfahrt sich auf drei Minuten verkürzte.

11.3 Ergebnisse

11.3.1 Aufbereitung der Fahrdaten

Vor der Aufbereitung der Fahrdaten wurde überprüft, ob zu irgendeinem Zeitpunkt im Rahmen von Fragebogen D2 Angaben zu Übelkeit während der Versuchsfahrten gemacht worden waren. Da diese Frage kein einziges Mal bejaht worden war, wurde für alle 28 Probanden anhand der Frage zu den bisherigen Fahrten in Fahrsimulatoren im Rahmen des Fragebogens D1 überprüft, ob sie mit denselben Vorkenntnissen zum Versuch erschienen waren. Keiner der 28 Probanden war vorher in einem Fahrsimulator gefahren, weshalb übungsbedingte Unterschiede als Störvariable ausgeschlossen werden konnten.

Im Hinblick auf die Länge einer Sitzung wurde auf mehrere Fahrten für jede Bedingung verzichtet. Lediglich für die Basisfahrt und die sekundäre Aufgabenfahrt „Task visuell-manuell“ gab es einen zweiten Durchgang, der bei etwaigen Ausfällen in der Datenaufzeichnung herangezogen werden konnte. In einem ersten Schritt wurden die Daten aller 28 Probanden in MS Access importiert und jede Einzelfahrt auf etwaige Fehler in den Datenprotokollen kontrolliert. In den 1008 Datenprotokollen wurden keine Fehler gefunden. Es war keine Korrektur anhand der Videomitschnitte notwendig. Der erste

Durchgang der Basisfahrt und der erste Durchgang der Fahrt mit der sekundären Aufgabe „Task visuell-manuell“ konnte für alle Probanden für die statistische Auswertung herangezogen werden.

In einem nächsten Schritt wurde eine Streckenkürzung als Grundlage für die weitere statistische Auswertung vorgenommen. Da alle drei sekundären Aufgaben denselben Startpunkt hatten, musste die Streckenkürzung, analog zu Experiment 3, lediglich bezogen auf das Ende der Fahrt vorgenommen werden. Dabei wurden die Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung auf eine einheitliche Länge, ausgehend vom Startpunkt, normiert. Die Basisfahrten wurden anhand der Streckenkilometer in ihrer Länge entsprechend angepasst. Es wurde angenommen, dass durch dieses Vorgehen Fehler bei krümmungssensitiven Maßen ausgeschlossen wurden.

Inwieweit die vorgegebene Geschwindigkeit von 120 km/h mit dem Toleranzbereich von +/- 15 km/h eingehalten worden war, wurde anhand der Kontrollvariable „Geschwindigkeitsüberschreitung“ in jedem Datenprotokoll überprüft. Die Analyse dieser Kontrollvariable ergab, dass keiner der Probanden den Toleranzbereich um mehr als 10% über- bzw. unterschritten hatte.

Die Grundlage für die nächsten Schritte bildeten somit 672 Dateien von 28 Probanden. Die elf Maße bzw. Berechnungsvarianten wurden für alle Dateien, analog zu den vorherigen Experimenten, berechnet. Für die Berechnung der Maße SRR, HFC und TLC wurde wiederum das Programm Matlab (Version 6.5.1) herangezogen. Die übrigen Maße wurden direkt in der Datenbank berechnet. Alle Ergebnisfiles wurden in SPSS (11.5) eingelesen. Diese resultierende Datentabelle bildete die Grundlage für die statistischen Berechnungen.

Auf der Basis dieser Datentabelle konnte überprüft werden, ob weitere Probanden aufgrund von zu vielen Ausreißerwerten von der Auswertung ausgeschlossen werden mussten. Für Ausreißerwerte galt hier dasselbe Kriterium wie bei den vorherigen Experimenten. Sobald über alle Bedingungen hinweg anhand der Boxplots mehr als 20% Ausreißer bei den Maßen identifiziert wurden, sollte der jeweilige Proband von der Auswertung ausgeschlossen werden. Entsprechend der Überprüfung erreichte keiner der Probanden dieses Kriterium. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich somit auf 28 Probanden pro Bedingung.

11.3.2 Hypothesenüberprüfung

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wurde für jedes der vier Maße eine dreifaktorielle Varianzanalyse gerechnet. Die drei Faktoren VARIANTE, SICHT und FAHRT gingen als vollständige Messwiederholungsfaktoren in die Auswertung ein. Als Voraussetzung für die Anwendung einer solchen Berechnungsmethode gelten Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität. Bei der vorliegenden Untersuchung waren gleich große Zellumfänge gegeben. Eine Anzahl von 28 Probanden in einem vollständigen Messwiederholungsdesign wurde als ausreichend eingestuft. Verletzungen der ersten beiden Voraussetzungen sollten somit keine Rolle spielen (vgl. Bortz, 1993). Etwaige Verletzungen der Sphärizität wurden mit der Korrektur nach Greenhouse-Geisser abgefangen. Für Einzelvergleiche zur gezielten Hypothesenprüfung wurde das strenge Kriterium angewendet (vgl. Abschnitt 8.3.2).

Für einen ersten Überblick werden Mittelwerte und Standardfehler, nach Maß und Bedingung aufgeschlüsselt, dargestellt. In diese Darstellung gehen die Daten aller 28 Probanden inklusive der Ausreißerwerte ein, da diese Ausreißerwerte bei einzelnen Maßen als individueller Fahrstil interpretiert wurden (vgl. Experiment 1).

11.3.2.1 SDLP („Standardabweichung der lateralen Position“)

In Tabelle 11.3 sind, getrennt nach Bedingung, die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardfehlern für das Maß SDLP dargestellt.

Tabelle 11.3 Maß SDLP: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE						
		„Plasma“			„Projektion“			
		SICHT			**SICHT**			
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	Zeilen-mittel-werte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	0.19 (0.01)	0.22 (0.02)	0.29 (0.02)	0.19 (0.01)	0.20 (0.01)	0.27 (0.02)	0.23 (0.01)
	„Task visuell-manuell“	0.29 (0.03)	0.28 (0.02)	0.35 (0.02)	0.27 (0.01)	0.29 (0.02)	0.34 (0.02)	0.30 (0.01)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	0.16 (0.01)	0.20 (0.01)	0.24 (0.01)	0.15 (0.01)	0.20 (0.01)	0.24 (0.02)	0.20 (0.01)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	0.15 (0.01)	0.19 (0.01)	0.24 (0.02)	0.15 (0.01)	0.18 (0.01)	0.23 (0.01)	0.19 (0.01)
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_1$	0.20 (0.01)	0.22 (0.01)	0.28 (0.01)	0.19 (0.01)	0.21 (0.01)	0.27 (0.01)	
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_2$	0.24 (0.01)			0.23 (0.01)			

Wie Tabelle 11.3 entnommen werden kann, lag die mittlere SDLP für die Variante „Plasma“ tendenziell über derjenigen für die Variante „Projektion“. Bei beiden Varianten nahm die mittlere SDLP für alle vier FAHRT-Stufen mit abnehmendem Sichtfeld zu. Absolut gesehen lieferte die „Task kognitiv“ (Rechnen) die niedrigste mittlere SDLP und die „Task visuell-manuell“ die höchste SDLP. Die Standardfehler bewegten sich bei beiden Varianten über alle Bedingungen hinweg in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit kompletter Messwiederholung für das Maß SDLP ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für die Faktoren FAHRT [$F(1.918)=64.574$, $p\leq.01$] und SICHT [$F(1.714)=46.957$, $p\leq.01$]. Der Faktor VARIANTE sowie alle Interaktionen waren nicht signifikant (siehe Anhang A.4).

Zur Überprüfung, zwischen welchen Bedingungen die Unterschiede signifikant ausfielen, wurden, getrennt nach statischer Fahrsimulatorvariante, jeweils acht einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. In Tabelle 11.4 befinden sich die Ergebnisse dieser einseitigen t-Tests für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“.

Tabelle 11.4 Maß SDLP: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“

Bedingung1	Bedingung2	df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	-5.113	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	-2.868	<.01
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	-2.739	≤.001
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	3.584	≤.001
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	5.338	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	6.934	<.001
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	2.000	<.05
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	6.065	<.001

Wie Tabelle 11.4 zeigt, lieferten alle acht t-Tests ein signifikantes bzw. hochsignifikantes Ergebnis für diese Variante.

In Tabelle 11.5 befinden sich die Ergebnisse der einseitigen t-Tests für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Sieben von insgesamt acht t-Tests lieferten ein hochsignifikantes Ergebnis.

Tabelle 11.5 Maß SDLP: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“

Bedingung1	Bedingung2	df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	-6.666	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	-5.052	<.001
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	-3.423	≤.001
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	3.119	<.01
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	4.479	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	5.682	<.001
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	2.505	n.s.
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	6.248	<.001

11.3.2.2 TLC_{mean} („Time to Line Crossing“)

In Tabelle 11.6 befinden sich Mittelwerte und Standardfehler, getrennt nach Bedingung, für das Maß TLC_{mean}.

Tabelle 11.6 Maß TLC_{mean}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE						
		„Plasma“			„Projektion“			
		SICHT			**SICHT**			
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	Zeilen-mittel-werte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	3.84 (0.11)	4.54 (0.14)	4.58 (0.16)	3.68 (0.09)	4.54 (0.13)	4.42 (0.12)	4.27 (0.09)
	„Task visuell-manuell“	2.50 (0.10)	2.91 (0.10)	2.72 (0.09)	2.42 (0.13)	2.68 (0.09)	2.83 (0.09)	2.67 (0.06)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	3.52 (0.10)	3.88 (0.09)	3.97 (0.14)	3.39 (0.10)	3.74 (0.10)	3.92 (0.12)	3.73 (0.08)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	3.31 (0.10)	3.81 (0.11)	3.81 (0.10)	3.19 (0.10)	3.63 (0.11)	3.65 (0.11)	3.57 (0.08)
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_1$	3.29 (0.07)	3.78 (0.09)	3.77 (0.09)	3.17 (0.08)	3.65 (0.09)	3.70 (0.08)	
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_2$	3.62 (0.08)			3.51 (0.07)			

Wie Tabelle 11.6 entnommen werden kann, lag die mittlere TLC_{mean} der Variante „Plasma“ über derjenigen der Variante „Projektion“. Bei der Variante „Projektion“ nahm die mittlere TLC_{mean} mit zunehmender Sichteinschränkung bei den drei sekundären Aufgabenfahrten zu. Bei der Variante „Plasma“ nahm die mittlere TLC_{mean} mit zunehmender Sichteinschränkung bei der Basisfahrt und der sekundären Aufgabenfahrt „Task kognitiv“ (Bahn) zu. Die höchste TLC_{mean} fand sich für die Basisfahrt, die niedrigste TLC_{mean} für die „Task visuell-manuell“. Die Standardfehler fielen über alle Bedingungen hinweg homogen aus, wobei die Standardfehler für die Variante „Plasma“ tendenziell über denjenigen für die Variante „Projektion“ lagen.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit kompletter Messwiederholung für das Maß TLC_{mean} ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für die Faktoren FAHRT [$F(2.417)=213.502$, $p\leq.01$] und SICHT [$F(1.814)=66.263$, $p\leq.01$]. Der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE fiel signifikant aus, $F(1)=4.066$, $p\leq.05$. Die hybride Interaktion FAHRT x SICHT [$F(4.396)=4.474$, $p\leq.01$] fiel hochsignifikant aus. Die übrigen Interaktionen zeigten kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.4).

Zur Überprüfung, welche Unterschiede zu diesen signifikanten Haupteffekten beigetragen hatten, wurden für das Maß TLC_{mean} einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. In Tabelle 11.7 sind die Ergebnisse der einseitigen t-Tests für die Variante „Plasma“ zusammengefasst. Gemäß dieser Tabelle fielen sieben der acht t-Tests hochsignifikant aus. Der Vergleich der beiden Sichtbedingungen „5 Grad“ und „Trapez“ erbrachte für die Variante „Plasma“ keinen signifikanten Unterschied.

Tabelle 11.7 Maß TLC_{mean}: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“

Bedingung1	Bedingung2	df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	18.784	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	11.906	<.001
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	12.171	<.001
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	6.204	<.001
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	8.262	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	-0.226	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	7.411	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	7.023	<.001

Tabelle 11.8 fasst die Ergebnisse der acht einseitigen t-Tests für die Variante „Projektion“ zusammen. Für die Variante „Projektion“ wurde bei dem Vergleich der Sichtbedingungen „5 Grad“ und „Trapez“ kein signifikanter Unterschied gefunden. Die übrigen sieben Vergleiche ergaben hochsignifikante Unterschiede.

Tabelle 11.8 Maß TLC_{mean}: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“

Bedingung1	Bedingung2	Df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	20.404	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	15.980	<.001
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	11.553	<.001
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	7.100	<.001
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	10.650	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	0.883	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	6.860	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	7.479	<.001

11.3.2.3 SDST („Standardabweichung des Lenkwinkels“)

In Tabelle 11.9 sind Mittelwerte und Standardfehler für das Maß SDST, getrennt nach Bedingung, aufgeführt.

Tabelle 11.9 Maß SDST: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE						
		„Plasma“			„Projektion“			
		SICHT			**SICHT**			
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	Zeilen-mittel-werte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	1.00 (0.02)	0.93 (0.01)	0.93 (0.01)	1.01 (0.02)	0.95 (0.01)	0.95 (0.02)	0.96 (0.01)
	„Task visuell-manuell“	1.44 (0.07)	1.25 (0.04)	1.33 (0.07)	1.58 (0.10)	1.32 (0.05)	1.32 (0.07)	1.37 (0.04)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	1.05 (0.03)	0.98 (0.02)	0.98 (0.02)	1.04 (0.03)	0.97 (0.03)	1.03 (0.03)	1.01 (0.02)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	1.04 (0.02)	0.98 (0.01)	0.97 (0.01)	1.08 (0.02)	1.00 (0.01)	0.99 (0.02)	1.01 (0.01)
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_1$	1.13 (0.03)	1.03 (0.02)	1.05 (0.02)	1.18 (0.03)	1.06 (0.02)	1.07 (0.02)	
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_2$	1.07 (0.02)			1.10 (0.02)			

Wie Tabelle 11.9 entnommen werden kann, lag die mittlere SDST für die Variante „Projektion“ über derjenigen für die Variante „Plasma“. Die niedrigste mittlere SDST fand sich für die Basisfahrt, die höchste für die „Task visuell-manuell“. Absolut gesehen fand sich die höchste mittlere SDST jeweils unter der Sichtbedingung „Standard“. Für die beiden anderen Sichtbedingungen fiel die mittlere SDST in etwa vergleichbar aus, ebenso wie die Standardfehler über alle Bedingungen hinweg.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit kompletter Messwiederholung für das Maß SDST ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für die Faktoren FAHRT [$F(1.577)=106.375$, $p\leq.01$] und SICHT [$F(1.425)=20.029$, $p\leq.01$]. Die disordinale Interaktion FAHRT x SICHT [$F(2.406)=3.822$, $p\leq.05$] fiel signifikant aus. Der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE sowie die übrigen Interaktionen waren nicht signifikant (siehe Anhang A.4).

Zur Überprüfung, welche Bedingungen sich signifikant unterschieden, wurden für das Lenkmaß SDST einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. In Tabelle 11.10 befinden sich die Ergebnisse dieser einseitigen t-Tests für die Variante „Plasma“. Insgesamt drei der acht t-Tests ergaben keinen signifikanten Unterschied. Die übrigen t-Tests fielen signifikant bzw. hochsignifikant aus.

Tabelle 11.10 Maß SDST: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“

Bedingung1	Bedingung2	df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	-10.175	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	-7.480	<.001
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	-5.486	<.001
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	-2.112	n.s.
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	-3.581	n.s.
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	0.853	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	-3.995	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	-3.865	≤.001

Tabelle 11.11 beinhaltet die Ergebnisse der einseitigen t-Tests für die Variante „Projektion“. Für diese Variante fielen sechs der insgesamt acht t-Tests signifikant bzw. hochsignifikant aus.

Tabelle 11.11 Maß SDST: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“

Bedingung1	Bedingung2	df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	-9.633	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	-8.391	<.001
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	-5.379	<.001
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	-2.288	n.s.
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	-3.753	≤.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	0.702	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	-4.303	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	-2.938	<.01

11.3.2.4 SRR („Anzahl der Steering Wheel Reversals“ pro Minute)

Da das Maß SRR, in Abhängigkeit von der gewählten Gapgröße, unterschiedliche Sachverhalte abbildet, erfolgte die Auswertung getrennt für die beiden Gapgrößen. Für das Maß SRR_{2} war der Faktor FAHRT damit zweifach gestuft und für das Maß $SRR_{0.4}$ dreifach. In Tabelle 11.12 sind zunächst die Mittelwerte und Standardfehler für das Maß $SRR_{0.4}$ aufgeführt.

Tabelle 11.12 Maß $SRR_{0.4}$: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE						
		„Plasma“			„Projektion“			
		SICHT			**SICHT**			
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	Zeilen-mittel-werte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	24.49 (1.36)	20.07 (1.44)	19.54 (1.36)	26.11 (1.20)	20.10 (1.30)	21.66 (1.61)	21.99 (1.06)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	28.74 (1.49)	27.20 (1.75)	25.54 (1.98)	29.97 (1.21)	28.31 (1.79)	27.32 (1.84)	27.85 (1.37)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	32.67 (1.46)	30.50 (2.44)	30.12 (2.10)	34.61 (1.61)	31.86 (1.96)	32.64 (2.05)	32.07 (1.61)
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_1$	28.64 (1.27)	25.92 (1.77)	25.06 (1.58)	30.23 (1.15)	26.76 (1.47)	27.21 (1.59)	
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_2$	26.54 (1.44)			28.06 (1.32)			

Wie Tabelle 11.12 entnommen werden kann, lag die mittlere $SRR_{0.4}$ für die Variante „Projektion“ über derjenigen für die Variante „Plasma“. Die höchste mittlere $SRR_{0.4}$ war bei der „Task kognitiv“ (Rechnen), die niedrigste bei der Basisfahrt gegeben. Die Einschränkung des Sichtfeldes führte tendenziell zu einer Abnahme der mittleren $SRR_{0.4}$. Die Standardfehler variierten in Abhängigkeit von FAHRT-Stufe und Sichtbedingung.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit kompletter Messwiederholung für das Maß $SRR_{0.4}$, ohne „Task visuell-manuell“, ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für die Faktoren FAHRT [$F(1.536)=74.838$, $p\leq.01$] und SICHT [$F(1.980)=12.080$, $p\leq.01$]. Die hybride Interaktion FAHRT x SICHT [$F(3.859)=2.832$, $p\leq.05$] fiel signifikant aus. Der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE sowie die übrigen Interaktionen zeigten kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.4).

Zur Überprüfung, welche Bedingungen sich hinsichtlich der $SRR_{0.4}$ signifikant unterschieden, wurden aufbauend auf den Ergebnissen der Varianzanalyse, jeweils einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet. In Tabelle 11.13 sind zunächst die Ergebnisse der einseitigen t-Tests für die Variante „Plasma“ dargestellt. Von insgesamt fünf t-Tests ergab nur ein Vergleich keinen signifikanten Unterschied („5 Grad“ vs. „Trapez“).

Tabelle 11.13 Maß $SRR_{0.4}$: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“

Bedingung1	Bedingung2	Df	T	P
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	-6.234	<.001
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	-8.777	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	-0.774	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	-2.447	≤.01
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	-4.425	<.001

Tabelle 11.14 können die Ergebnisse der fünf einseitigen t-Tests für die Variante „Projektion“ entnommen werden. Auch für diese Variante fielen vier Vergleiche hochsignifikant aus. Die einzige Ausnahme bildete, wie bei der Variante „Plasma“, der Vergleich der beiden Sichtbedingungen „5 Grad“ und „Trapez“.

Tabelle 11.14 Maß $SRR_{0.4}$: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“

Bedingung1	Bedingung2	df	T	P
“Standard”: „Basis”	“Standard”: “Task kognitiv“ (Bahn)	27	-5.661	<.001
“Standard”: “Basis“	“Standard”: „Task kognitiv“ (Rechnen)	27	-8.323	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	0.572	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	-4.124	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	-2.851	<.01

Abschließend sind in Tabelle 11.15 die Mittelwerte und Standardfehler für das Maß SRR2, nach Bedingung aufgeschlüsselt, dargestellt.

Tabelle 11.15 Maß SRR2: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE						
		„Plasma“			„Projektion“			
		SICHT			**SICHT**			
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	Zeilen-mittel-werte $\bar{x}$
FAHRT	„Basis“	3.06 (0.57)	0.95 (0.23)	1.21 (0.31)	3.14 (0.48)	1.19 (0.24)	1.15 (0.45)	1.78 (0.30)
	„Task visuell-manuell“	14.99 (1.33)	10.06 (1.20)	9.92 (1.19)	18.09 (1.52)	11.12 (1.05)	9.75 (1.03)	12.32 (0.89)
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_1$	9.03 (0.78)	5.50 (0.65)	5.57 (0.62)	10.62 (0.88)	6.15 (0.59)	5.45 (0.62)	
	Spalten-mittel-werte $\bar{y}_2$	6.70 (0.59)			7.41 (0.58)			

Wie Tabelle 11.15 entnommen werden kann, lag die mittlere SRR2 der Variante „Projektion“ über derjenigen für die Variante „Plasma“. Für die „Task visuell-manuell“ lag die mittlere SRR2 über derjenigen für die Basisfahrt. Bei der „Task visuell-manuell“ führte die Sichteinschränkung zu einer Abnahme der mittleren SRR2. Innerhalb einer FAHRT-Stufe fielen die Standardfehler vergleichbar aus.

Die dreifaktorielle Varianzanalyse mit kompletter Messwiederholung für das Maß SRR2, ohne „Task kognitiv“ (Bahn) und „Task kognitiv“ (Rechnen), ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für die Faktoren FAHRT [$F(1)=167.689$, $p\leq.01$] und SICHT [$F(1.606)=43.733$, $p\leq.01$]. Die hybride Interaktion FAHRT x SICHT [$F(1.746)=14.444$, $p\leq.01$] fiel hochsignifikant aus. Der Haupteffekt für den Faktor VARIANTE sowie die übrigen Interaktionen zeigten kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang A.4).

Zur Überprüfung, zwischen welchen Sichtbedingungen sich die SRR2-Werte signifikant unterschieden, wurden jeweils einseitige t-Tests für abhängige Stichproben gerechnet.

In Tabelle 11.16 sind zunächst die Ergebnisse für die Variante „Plasma“ zusammengefasst. Einer der sechs t-Tests zeigte keinen signifikanten Unterschied („5 Grad“ und „Trapez“), die übrigen t-Tests lieferten einen hochsignifikanten Unterschied.

Tabelle 11.16 Maß SRR2: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Plasma“

Bedingung1	Bedingung2	df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	-8.916	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	-7.999	<.001
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	-7.170	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	0.123	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	-6.584	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	-4.788	<.001

Tabelle 11.17 fasst die Ergebnisse der einseitigen t-Tests für die Variante „Projektion“ zusammen. Auch für diese Variante ergaben fünf der insgesamt sechs Vergleiche einen hochsignifikanten Unterschied. Für den Vergleich der beiden Sichtbedingungen „5 Grad“ und „Trapez“ fiel der Unterschied nicht signifikant aus.

Tabelle 11.17 Maß SRR2: einseitige t-Test-Ergebnisse für die Variante „Projektion“

Bedingung1	Bedingung2	Df	T	P
“Standard”: “Basis“	“Standard”: “Task visuell-manuell“	27	-10.638	<.001
“Trapez”: “Basis“	“Trapez”: “Task visuell-manuell“	27	-10.238	<.001
“5 Grad”: “Basis“	“5 Grad”: “Task visuell-manuell“	27	-8.688	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: “Trapez“	27	-1.214	n.s.
„Basis“: „Trapez“	„Basis“: „Standard“	27	-5.395	<.001
„Basis“: „5 Grad“	„Basis“: „Standard“	27	-7.522	<.001

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass für alle vier Maße die Faktoren SICHT und FAHRT ein signifikantes bzw. hochsignifikantes Ergebnis lieferten. Abgesehen von dem Maß SDLP fiel für die übrigen Maße auch die Interaktion zwischen den Faktoren SICHT und FAHRT signifikant bzw. hochsignifikant aus. Der Faktor VARIANTE war nur bei dem Maß TLC_{mean} signifikant. Die übrigen Interaktionen waren bei keinem der vier Maße signifikant.

11.3.3 Subjektive Bewertung

Im Rahmen der beiden Termine nahmen die Probanden zwischen den einzelnen Fahrten und im Anschluss an alle drei Sichtbedingungen für eine Variante, anhand von Fragebögen und mündlich auf Nachfrage, subjektive Einschätzungen vor. Darüber hinaus wurden die Probanden zu den Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung unter der jeweiligen Sichtbedingung befragt und sie beurteilten u.a. die Schwierigkeit, unter der jeweiligen Sichtbedingung in der vorgeschriebenen Spur zu fahren (siehe Fragebogen D2). Die übrigen Daten wurden ergänzend erhoben, aber nicht weiterführend ausgewertet. Die Frage, ob dem Probanden während des Versuchs schlecht geworden war, diente als Kontrollvariable und wurde zusammen mit den demografischen Daten gesondert betrachtet (siehe oben). Die mündliche Beurteilung der Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung sowie die Beantwortung der Fragen im Fragebogen D2 erfolgten anhand einer fünfstufigen Skala. Ein Wert von 1 bedeutete jeweils „sehr gut“ und ein Wert von 5 „sehr schlecht“. Da nicht davon ausgegangen werden konnte, dass die Stufen zwischen den Antwortalternativen als äquidistant wahrgenommen worden waren und somit ein Vorliegen von Intervallniveau für die subjektiven Daten unwahrscheinlich erschien, wurden alle statistischen Überprüfungen anhand nichtparametrischer Berechnungsverfahren vorgenommen.

Die Mittelwerte und Standardfehler der Antworten auf die mündliche Zwischenfrage nach der Ablenkungswirkung der Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung (vgl. Experiment 3) unter der Sichtbedingung „Standard“ sind in Tabelle 11.18 aufgeführt.

Tabelle 11.18 Beurteilung der Ablenkungswirkung der jeweiligen Fahrt mit sekundärer Aufgabenbearbeitung: Mittelwerte und Standardfehler für die Sichtbedingung „Standard“

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Task kognitiv“ (Bahn)	2.54 (0.14)	2.32 (0.16)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	2.86 (0.12)	3.04 (0.20)
	„Task“ (visuell-manuell)	2.93 (0.20)	2.57 (0.16)

Wie Tabelle 11.18 entnommen werden kann, fand sich bei der Variante „Plasma“ die höchste Ablenkungswirkung für die „Task visuell-manuell“ und bei der Variante „Projektion“ für die „Task kognitiv“ (Rechnen). Bei beiden Varianten fiel die Beurteilung für die Ablenkungswirkung der „Task kognitiv“ (Bahn) am niedrigsten aus. Die Standardfehler waren in etwa vergleichbar.

Für die statistische Überprüfung der Unterschiede in der Beurteilung der Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung unter der Sichtbedingung „Standard“ wurden für beide Varianten zunächst ein Friedman Test mit drei abhängigen Stichproben gerechnet.

Für die Variante „Plasma“ fiel der Friedman Test nicht signifikant aus (χ^2 =4.861, n.s.). Für die Variante „Projektion“ zeigte der Friedman Test ein hochsignifikantes Ergebnis, χ^2 =10.842, p<.01.

Zur Überprüfung, welche Unterschiede in der Beurteilung der beiden kognitiven Aufgaben, jeweils im Vergleich zu der visuell-manuellen Aufgabe, signifikant ausfielen, wurden für die Variante „Projektion“ zwei einseitige Wilcoxon Tests gerechnet. Eine einseitiger Wilcoxon Test ergab, dass die „Task visuell-manuell“ im Vergleich zu der „Task kognitiv“ (Rechnen) als signifikant weniger ablenkend eingestuft wurde, Z=-2.101, p<.05. Der andere einseitige Wilcoxon Test zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen der „Task visuell-manuell“ und der „Task kognitiv“ (Bahn) (Z=-1.173, n.s.).

Die Mittelwerte und Standardfehler für die Beantwortung der Frage nach der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, sind in Tabelle 11.19, getrennt nach Variante und Sichtbedingung, aufgeführt.

Tabelle 11.19 Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren: Mittelwerte und Standardfehler – aufgeschlüsselt nach Variante und Sichtbedingung

	VARIANTE					
	„Plasma“			„Projektion“		
	SICHT			**SICHT**		
	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
mittlere Schwierigkeit	1.89 (0.14)	2.11 (0.17)	2.32 (0.19)	1.64 (0.12)	2.00 (0.15)	2.50 (0.20)

Wie Tabelle 11.19 entnommen werden kann, nahm bei beiden Varianten die Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, mit zunehmender Sichteinschränkung zu. Zur Überprüfung, inwieweit die deskriptiv festgestellten Unterschiede in der Beurteilung der drei Sichtbedingungen statistisch bedeutsam waren, wurde, getrennt nach Variante, zunächst ein Friedman Test für drei abhängige Stichproben gerechnet.

Der Friedman Test für die Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, ergab für die Variante „Plasma“ einen signifikanten Unterschied, χ^2=7.891, p<.05. Zwischen den beiden Sichtbedingungen „5 Grad“ und „Trapez“ ergab der einseitige Wilcoxon Test keinen signifikanten Unterschied in der Beurteilung (Z=-1.613, n.s.). Der Vergleich der Sichtbedingungen „Trapez“ und „Standard“ lieferte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied (Z=-1.476, n.s.).

Für die Variante „Projektion“ lieferte der Friedman Test einen hochsignifikanten Unterschied, χ^2 =19.909, p<.001. Der einseitige Wilcoxon Test ergab, dass die Schwierigkeit unter der Sichtbedingung „Trapez“, im Vergleich zu der Sichtbedingung „5 Grad“, als hochsignifikant niedriger eingestuft wurde, Z=-2.560, p<.01. Gemäß des einseitigen

Wilcoxon Tests wurde die Schwierigkeit unter der Sichtbedingung „Standard“, verglichen mit der Sichtbedingung „Trapez“, als hochsignifikant niedriger eingestuft, Z=-2.673, p≤.01.

11.3.4 Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Neben der Überprüfung der einzelnen Hypothesen waren die Bestimmung der Sensitivität aller ausgewählter Maße (vgl. Abschnitt 5.1 und 5.2) sowie Aussagen zur relativen und absoluten Vergleichbarkeit zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten von Interesse. Für diese ergänzenden Betrachtungen wurde, analog zu den vorherigen Experimenten, für jedes Maß Cohen’s d (vgl. Cohen, 1988) berechnet. Die Mittelwerte und Standardfehler für die noch hinzukommenden Maße können Anhang A.4 entnommen werden.

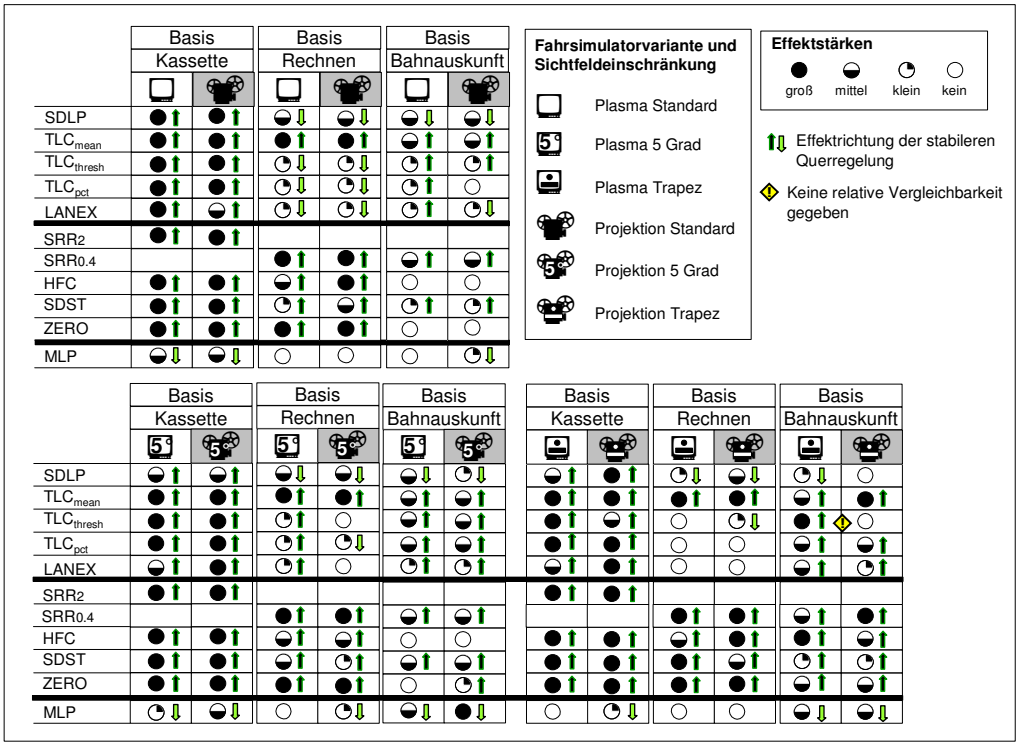

Abbildung 11.2 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und relative Vergleichbarkeit (sekundäre Aufgabenbearbeitung)

In Abbildung 11.2 sind die Ergebnisse für die beiden Fahrsimulatorvarianten, jeweils unter derselben Sichtbedingung, für die Bearbeitung einer sekundären Aufgabe im Vergleich zu einer Basisfahrt einander gegenübergestellt. Auf das Maß MLP wird dabei gesondert eingegangen.

Auch in diesem Experiment zeigte sich eine hohe Sensitivität aller Spur- und Lenkmaße für die Bearbeitung der visuell-manuellen Aufgabe. Einige Effektstärken lagen im mittleren Bereich, die meisten befanden sich sogar im hohen Bereich. Ein uneinheitliches Bild war, wie in den vorangegangenen Experimenten, für die Bearbeitung der kognitiven Aufgaben gegeben. Bei vereinzelten Maßen zeigten sich innerhalb einer Bedingung Effektunterschiede um mehr als eine Stufe.

Anhand der Übersicht lässt sich ein interessanter Trend ablesen. Bei der Bearbeitung der kognitiven Aufgaben „Rechnen“ oder „Bahn“ zeigte sich für das Maß

SDLP, bei Vorliegen eines Effekts, immer eine Stabilisierung. Die TLC_{mean} und alle Lenkmaße wiesen dagegen die stabilere Querregelung für die Basisfahrt auf. Damit trat bei Experiment 4 derselbe Trend auf, der bereits bei Experiment 2 aufgefallen und auch tendenziell in Experiment 3 beobachtet worden war.

Die relative Vergleichbarkeit für die sekundäre Aufgabenbearbeitung war unter allen Sichtbedingungen, im Rahmen der gesetzten Kriterien, gegeben. Lediglich bei dem Maß TLC_{thresh}, unter der Sichtbedingung „Trapez“, unterschied sich das Ergebnis für den Vergleich der Basisfahrt mit der kognitiven Aufgabe „Bahn“ um mehr als eine Effektstufe.

Bei der Betrachtung der MLP zeigte sich für das Fahren mit uneingeschränkter Sicht in Ansätzen ein ähnliches Muster wie in Experiment 2 und 3. Das Fahren mit visuell-manueller Aufgabe führte eher zu einer Ausrichtung an der rechten Spurmarkierung. Bei der Bearbeitung der kognitiven Aufgaben traten jedoch keine Effekte auf bzw. im Falle der Fahrsimulatorvariante „Projektion“ bei der kognitiven Aufgabe „Bahn“ ein kleiner Effekt. Bei Fahrten mit eingeschränkter Sicht und Aufgabenbearbeitung war dieses Muster nicht mehr erkennbar. Es traten bei allen Aufgaben mal kleine und mal mittlere Effekte auf, weswegen an dieser Stelle nur vorsichtig festgesellt werden, kann dass für Aufgabenbearbeitung alle Effektrichtungen eine Ausrichtung zum rechten Spurrand hin zeigten.

In Abbildung 11.3 sind die Ergebnisse für dieselbe Fahrsimulatorvariante und unterschiedliche Sichtbedingungen, nach den vier FAHRT-Stufen gruppiert, dargestellt.

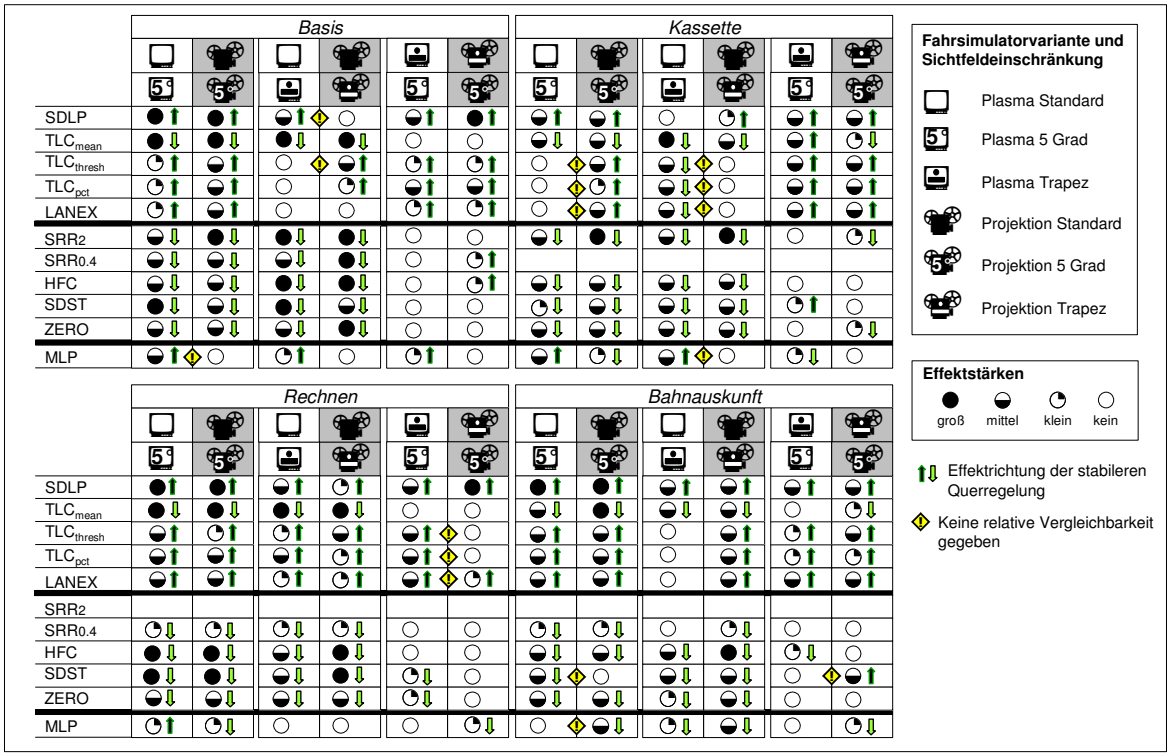

Abbildung 11.3 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der Sensitivität und der relativen Vergleichbarkeit (Sichtfeldeinschränkung)

Wie diese Gegenüberstellung zeigt, war die Sensitivität der Maße für die verschiedenen Sichtbedingungen sehr unterschiedlich. Innerhalb der einzelnen Bedingungen existierten ein oder mehrere Maße, welche sich um mehr als eine Effektstufe voneinander unterschieden.

Die relative Vergleichbarkeit zwischen der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ und der Variante „Projektion“ war in den meisten der 122 Fälle, einschließlich der MLP, gegeben. In 16 Fällen wurde die relative Vergleichbarkeit verletzt. Besonders betroffen waren die Maße TLC_{thresh}, TLC_{pct} und LANEX, die für 10 der 16 Verletzungen innerhalb von vier Bedingungen verantwortlich waren. Die anderen Verletzungen traten für die Maße SDLP, MLP und SDST auf (siehe Abbildung 11.3).

Bei den Lenkmaßen konnte ein weiterer interessanter Trend festgestellt werden. Alle Lenkmaße zeigten für die Sichtfeldeinschränkung ausnahmslos die stabilere Querführung. Bei dem direkten Vergleich der beiden eingeschränkten Sichtbedingungen „Trapez“ und „5 Grad“ waren kaum Effekte festzustellen. Einige wenige kleine bis mittlere Effekte zeigten wechselnde Richtungen.

Die MLP variierte in Richtung und Effektgröße, für den Vergleich der unterschiedlichen Sichtbedingungen eher unsystematisch, weswegen an dieser Stelle keine weiteren Interpretationen vorgenommen wurden.

Hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Maße ZERO und SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse für beide Maße weitestgehend vergleichbar ausfielen (vgl. Abbildung 11.2 und Abbildung 11.3). Lediglich bei der Bearbeitung der kognitiven Aufgabe „Bahn“ unter der Sichtbedingung „Standard“ und „5 Grad“ unterschieden sich die resultierenden Effektstärken um mehr als eine Stufe (siehe Abbildung 11.2).

Im Hinblick auf die drei TLC-Berechungsvarianten konnte sehr häufig ein Unterschied von mehr als einer Effektstufe festgestellt werden. Ohne jede einzelne Bedingung genau zu analysieren, schienen sich die Berechnungsvarianten TLC_{pct} und TLC_{thresh} hinsichtlich der Ergebnisse ähnlicher zu sein.

Für die Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit wurden die Effektstärken für einen direkten Vergleich der beiden Fahrsimulatorvarianten unter der Sichtbedingung „Standard“ entsprechend gruppiert (siehe Abbildung 11.4).

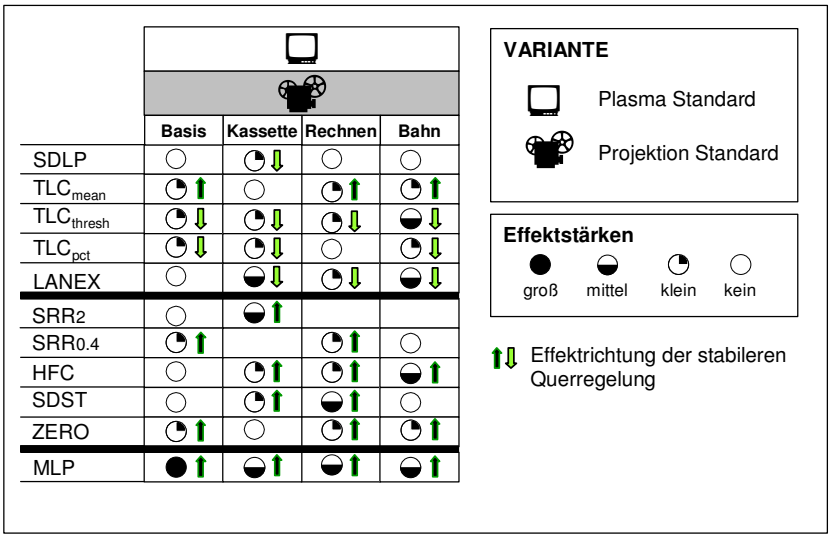

Abbildung 11.4 Effektstärkengruppierung zur Bestimmung der absoluten Vergleichbarkeit

Die absolute Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten war hinsichtlich der Basisfahrt für alle Lenk- und Spurmaße gegeben. Bei den Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung traten jeweils ein bis drei Verletzungen der absoluten Vergleichbarkeit auf. Bei Bearbeitung der sekundären kognitiven Aufgabe „Bahn“ waren die meisten Verletzungen gegeben (TLC_{thresh}, LANEX, HFC), gefolgt von der visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ (LANEX, SRR_2) und der kognitiven Aufgabe „Rechnen“ (SDST). Insgesamt konnte die absolute Vergleichbarkeit, verglichen mit Experiment 2, als deutlich besser eingestuft werden. Bei der MLP war die absolute Vergleichbarkeit bei keiner der vier Fahrten gegeben. Hier zeigte sich, dass bei Fahrten in der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ eher eine Ausrichtung zur rechten Spurmarkierung erfolgte. Einschließlich der MLP war also in 10 der 41 Fälle die absolute Vergleichbarkeit nicht gegeben, was einem Prozentanteil von rund 24% entspricht.

Eine rein qualitative Betrachtung der Effektrichtungen zeigte für den direkten Vergleich der Fahrsimulatorvarianten ein ähnliches Muster wie bei den kognitiven Aufgaben. Alle Effekte bei den Spurmaßen, abgesehen von der TLC_{mean}, deuteten eine stabilere Querregelung für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ an. Bei allen Lenkmaßen, sowie der TLC_{mean}, verhielt es sich umgekehrt. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass diese qualitativen Betrachtungen keinesfalls im Sinne einer Hypothesenprüfung verstanden wurden. Ein derart eindeutiger Trend, wie er hier gegeben war, wurde aber dennoch als beachtenswert angesehen, gerade auch im Hinblick auf die Hypothesengewinnung für zukünftige Experimente.

11.4 Diskussion

Im Rahmen von Experiment 4 wurde untersucht, welchen Einfluss die statische Fahrsimulatorvariante („Plasma“ vs. „Projektion“), Sichtfeldeinschränkungen („5 Grad“ vs. „Trapez“ vs. „Standard“), unterschiedliche sekundäre kognitive Aufgaben [„Task kognitiv“ (Bahn) und „Task kognitiv“ (Rechnen)] sowie eine sekundäre visuell-manuelle Aufgabe („Task visuell-manuell“) im Vergleich zu einer Basisfahrt auf die Querregelung haben.

Insbesondere sollte mittels der beiden unterschiedlichen kognitiven Aufgaben aus Experiment 2 und 3 die Frage beantwortet werden, ob sich diese Aufgaben grundlegend voneinander unterscheiden. Die stabilere SDLP bei der Bearbeitung der kognitiven Aufgabe „Rechnen“ war für die kognitive Aufgabe „Bahn“ nicht gefunden worden, weshalb unklar war, ob dieser Effekt dem „between“ Design von Experiment 2 oder anderen Gründen geschuldet war. Zusätzlich wurde ein weiteres Mal die Wirkung einer Sichtfeldeinschränkung, wie in Experiment 1, untersucht, ohne dass zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten nicht intendierte Unterschiede in der Stärke des Lenkwiderstands gegeben waren. Als neuer Aspekt wurde in diesem Experiment der Einfluss des Nahbereichs auf die Querregelung untersucht. Der Nahbereich hat nach Land und Horwood (1995) einen wichtigen Einfluss auf die Querregelung, was jedoch von Chatziastros et al. (1999) nicht bestätigt werden konnte.

Bei diesem Experiment wurden zur Steigerung der ökologischen Validität und im Hinblick auf eine bessere untersuchungsübergreifende Vergleichbarkeit alle Bedingungen, wie bereits bei Experiment 3, mit Fremdverkehr konfiguriert. Die genannten Einflussfaktoren wurden mit Hilfe eines komplett messwiederholten Versuchsdesigns analysiert.

Neben der Wirkung der Einflussfaktoren auf die Querregelung war von Interesse, wie sensitiv einzelne Lenk- und Spurmaße für eine bestimmte Bedingung waren, und ob die Fahrsimulatorvarianten Ergebnisse in derselben Größenordnung lieferten.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden die beiden statischen Fahrsimulatorvarianten der BMW Group herangezogen. Die Sichtfeldeinschränkungen wurden anhand softwareseitiger Abdeckungen realisiert. Für beide Varianten kam dieselbe Sitzkiste zum Einsatz. Entsprechende Einbauten in der Sitzkiste ermöglichten die Bearbeitung der sekundären Aufgaben „Task kognitiv“ (Bahn) und „Task visuell-manuell“ während der Fahrt. Für die kognitive Aufgabe „Rechnen“ waren keine zusätzlichen Einbauten in der Sitzkiste notwendig.

Die Fahrten ohne sekundäre Aufgabenbearbeitung stellten jeweils die Basisfahrten dar. Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung wurden als einzelne Versuchsfahrten realisiert. Die Basisfahrt und die Fahrt mit der sekundären Aufgabe „Task visuell-manuell“ wurden jeweils einmal wiederholt. Die beiden sekundären kognitiven Aufgabenfahrten wurden aus Zeitgründen nur einmal durchlaufen. Die jeweils erste Versuchsfahrt bildete die Grundlage für die statistische Auswertung. Zur Vermeidung von Reihenfolge- und Übungseffekten wurden die Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt. Eine Gruppe durchlief die erste Sitzung in der Variante „Plasma“, die andere in der Variante „Projektion“. Die Reihenfolge für die Bedingungen innerhalb einer Variante war über alle Probanden innerhalb einer Gruppe ausbalanciert. Die Probanden wurden den einzelnen Reihenfolgen zufällig zugewiesen.

Damit für alle Probanden eine vergleichbare Aufgabenschwierigkeit gegeben war, nahmen nur Probanden an der Untersuchung teil, die bislang noch keine praktischen Erfahrungen mit Fahrsimulatoren hatten. Den Probanden wurde für alle Fahrten eine Sollgeschwindigkeit von 120 km/h vorgegeben und sie sollten so fahren, wie sie es unter realen Bedingungen auch tun würden.

Die Ergebnisse werden in der Reihenfolge der Hypothesen diskutiert. Zunächst soll auf den Einfluss der Bearbeitung der visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ eingegangen werden.

Hypothese 1, nach welcher die Bearbeitung der visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ für beide Fahrsimulatorvarianten unter allen Sichtbedingungen zu einer instabileren Querregelung führen sollte, bestätigte sich erwartungsgemäß für alle zur Hypothesenprüfung herangezogenen Maße. Wie bereits in Experiment 2 und 3 stellte die Bearbeitung der visuell-manuellen Aufgabe mit den Blickabwendungen von der Straße offensichtlich eine so große Beeinflussung der primären Fahraufgabe dar, dass sich diese in ausnahmslos mittleren und großen Effekten niederschlug. Interessant an dem vorliegenden Ergebnis war allerdings, dass die Probanden nicht von dem uneingeschränkten Sichtfeld im Vergleich zu den Bedingungen mit eingeschränktem Sichtfeld profitierten. Dies spricht gegen die von Summala et al. (1996) postulierte Wirkung des peripheren Sehens. Allerdings könnte in dem vorliegenden Experiment vor allem der manuelle Teil der Aufgabe, also das Wechseln der Kassette, für die instabile Querregelung verantwortlich gewesen sein, während die Aufgaben bei Summala et al. (1996) nur visuelle und kognitive Tätigkeiten umfassten.

Nach **Hypothese 2** sollte die stabilisierende Wirkung einer kognitiven Aufgabe, wie sie bei Experiment 2 für die Aufgabe „Rechnen“ gegeben war, auch bei diesem Experiment auftreten. Die kognitive Aufgabe „Bahn“ aus Experiment 3, welche diese stabilisierende Wirkung nicht gezeigt hatte, sollte sie auch ein weiteres Mal nicht zeigen, da vermutet wurde, dass sich die beiden kognitiven Aufgaben in ihrer Wirkung auf die Querregelung unterschieden. Diese Hypothese musste eindeutig als widerlegt angesehen werden. Tatsächlich zeigte sich für beide kognitiven Aufgaben in identischer Weise eine signifikante stabilisierende Wirkung auf das Maß SDLP, während die Maße TLC_{mean} und die $SRR_{0.4}$ instabiler wurden. Damit konnte für beide sekundäre kognitive Aufgaben die von Engström et al. (2005) berichtete Stabilisierung bei der SDLP repliziert werden.

Dieses Ergebnis warf die Frage auf, warum die kognitive Aufgabe „Bahn“ die Stabilisierung in Experiment 3 nicht gezeigt hatte, die kognitive Aufgabe „Rechnen“ in Experiment 2 aber schon. Es war vermutet worden, dass sich entweder die beiden kognitiven Aufgaben in ihrer Wirkung auf die Querregelung unterschieden, oder aber, dass das „between“ Design aus Experiment 2 der Grund für das unterschiedliche Ergebnis gewesen sein könnte. In Experiment 4 konnte jedoch die stabilisierende Wirkung der kognitiven Aufgabe „Rechnen“ repliziert werden. Gleichzeitig zeigten die beiden kognitiven Aufgaben eine identische Wirkung. Dies ließ, bei direktem Vergleich von Experiment 2 und 4, den Schluss zu, dass das Versuchsdesign als mögliche Ursache ausgeschlossen werden kann. Das abweichende Ergebnis von Experiment 3, im Vergleich zu Experiment 4, kann nicht so einfach erklärt werden. Die beiden Versuche wurden unter identischen Bedingungen durchgeführt. Die Versuchspersonen waren sich bei beiden Experimenten bezüglich ihres Hintergrundes sehr ähnlich. Die Versuchspersonenanzahl lag mit 29 Probanden bei Experiment 3 und 28 Probanden bei Experiment 4 in einer vergleichbaren Größenordnung. Die Probanden in Experiment 3 waren im Schnitt knapp zwei Jahre älter. Einem Führerscheinbesitz von durchschnittlich neun Jahren stand in Experiment 4 ein Führerscheinbesitz von durchschnittlich 7.3 Jahren gegenüber. Trotzdem wäre es übereilt, den Teilnehmern von Experiment 3 die größere Fahrerfahrung zuzusprechen. Die Teilnehmer von Experiment 4 wiesen tendenziell mehr Vielfahrer auf. Bei der Gerätenutzung und den Computerspielgewohnheiten waren keine auffälligen Unterschiede vorhanden (vgl. auch Abschnitt 10.2.1 und 11.2.1). Nicht ausgeschlossen werden kann natürlich, dass sich die Versuchspersonengruppen in einer nicht kontrollierten Variable unterschieden. Letztendlich konnte keine plausible Erklärung für das Ergebnis aus Experiment 3 gefunden werden, so dass es bis zur Durchführung weiterer Untersuchungen eher als Artefakt verstanden wurde.

Hypothese 3a vermutete, dass die Sichtfeldeinschränkung auf eine Größe von 5 Grad bei einer Basisfahrt, für beide Fahrsimulatorvarianten, zu einer instabileren Querregelung führen sollte. Dies sollte insbesondere für alle Lenkmaße bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ gelten, da in Experiment 4 der Lenkwiderstand bei beiden Varianten identisch gewesen war. Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Zwar zeigten alle im Rahmen der Hypothese überprüften Maße signifikante Effekte, eine Destabilisierung im Sinne der Hypothese bildete aber nur das Maß SDLP ab. TLC_{mean} sowie SRR_{2} bzw. $SRR_{0.4}$ und SDST zeigten, entgegen der Hypothese, eine Stabilisierung der Querregelung für die Sichtbedingung „5 Grad“. Dies war nach den Ergebnissen aus Experiment 1 nicht vermutet worden. Die Operationalisierung in Experiment 4 hatte

offensichtlich eine andere Qualität gehabt als die in Experiment 1. In Experiment 1 konnten die Versuchspersonen frei umherblicken, während in Experiment 4 der Ausschnitt von 5 Grad starr war und wahrscheinlich einen guten Referenzrahmen abgab, so dass insgesamt weniger und kleinere Lenkbewegungen nötig waren. Ob die Unterschiede zwischen den beiden Fahrsimulatorvarianten in Experiment 1 bezüglich der SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ tatsächlich durch den nicht intendiert unterschiedlichen Lenkwiderstand hervorgerufen worden waren, ist vor diesem Hintergrund schwer zu beantworten. Hinsichtlich des Musters ähnelt das Ergebnis demjenigen der kognitiven Aufgaben aus Hypothese 2. Auch die Sichtfeldeinschränkung auf 5 Grad erzeugte ein gegenläufiges Verhalten mit der SDLP auf der einen Seite und den Maßen TLC_{mean}, SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ und sogar SDST auf der anderen Seite.

Hypothese 3b: Für beide Fahrsimulatorvarianten sollte die Querregelung während einer Basisfahrt unter der Sichtbedingung ohne periphere Informationen („5 Grad“) instabiler ausfallen als unter der Bedingung mit einem zusätzlichen Sichtausschnitt („Trapez“). Diese Hypothese muss als eindeutig widerlegt angesehen werden. Eine signifikante stabilisierende Wirkung zeigte sich nur für das Maß SDLP und nicht für die Maße TLC_{mean}, SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ sowie SDST. Der zusätzliche Nahbereich lieferte anscheinend tatsächlich zusätzliche Informationen, um das Fahrzeug besser, das heißt mit weniger Schwankungen in der Spur zu halten. Dies wurde aber offensichtlich erreicht, ohne dass sich das Lenkverhalten grundlegend änderte.

Hypothese 3c: Für beide Fahrsimulatoren wurde vermutet, dass die Querregelung während einer Basisfahrt unter der Bedingung mit einem zusätzlichen Sichtausschnitt („Trapez“) nicht signifikant instabiler ausfallen sollte als unter der Sichtbedingung „Standard“. Diese Hypothese musste ebenfalls als widerlegt angesehen werden. Ähnlich wie bei dem Vergleich zwischen der Sichtbedingung „Standard“ und der eingeschränkten Sichtbedingung „5 Grad“ zeigte sich bei allen betrachteten Maßen, bis auf eine Ausnahme, dasselbe Verhalten wie für Hypothese 3a. Lediglich für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ konnte bei der SDLP kein signifikantes Ergebnis gefunden werden. Das Vorhandensein des Nahbereichs war hier nicht von entscheidender Wirkung. Das Fehlen der übrigen Fahrszene konnte durch den Nahbereich offensichtlich nicht kompensiert werden.

Hypothese 4: Fahrten mit sekundärer visuell-manueller Aufgabenbearbeitung unter der Sichtbedingung „Standard“ sollten, unabhängig von der Fahrsimulatorvariante, im Vergleich zu Fahrten mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung „Rechnen“ und Fahrten mit sekundärer kognitiver Aufgabenbearbeitung „Bahn“ als ablenkender eingestuft werden. Diese Hypothese musste eindeutig als widerlegt angesehen werden. Der Friedman Test lieferte nur für die Variante „Projektion“ ein signifikantes Ergebnis. Der nachgeschaltete Wilcoxon Tests ergab nur für einen der beiden Vergleiche („Rechnen“ vs. „Kassette“) einen signifikanten Unterschied, wobei die visuell-manuelle Aufgabe „Kassette“ als weniger ablenkend eingestuft worden war. Offensichtlich war die sekundäre Aufgabenbearbeitung als solche eher für die Beurteilung der Ablenkungswirkung entscheidend als der Aufgabentyp selbst. Die Tatsache, dass dieselben Ressourcen für die primäre Fahraufgabe und die sekundäre Aufgabe genutzt wurden, schien bei der subjektiven Beurteilung der Ablenkungswirkung nicht relevant gewesen zu sein. Zusätzlich könnte das größere Sichtfeld der Variante „Projektion“ dazu beigetragen

haben, dass die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe einfacher zu bewältigen war und deshalb insgesamt als weniger ablenkend eingestuft wurde.

Warum der Vergleich nur für die eine sekundäre kognitive Aufgabe ein signifikantes Ergebnis lieferte und für die andere nicht, lässt sich am ehesten mit den Unterschieden zwischen den beiden kognitiven Aufgaben erklären. Bei der Aufgabe „Task kognitiv“ (Bahn) musste vor Aufgabenbeginn eine überschaubare Menge an Informationen eingeprägt werden und während des Fahrens ein Telefonat mit diesen Informationen geführt werden, also handelte es sich hierbei um eine gut geübte Tätigkeit. Bei der kognitiven Aufgabe „Task kognitiv“ (Rechnen) musste sich der Proband während des Fahrens fortlaufend neue Zahlen merken, die Subtraktionen ohne Hilfsmittel durchführen und das Zwischenergebnis laut nennen. Diese Tätigkeiten waren bei den meisten Probanden wahrscheinlich weniger gut geübt und könnten deshalb eher zu einer höheren Einschätzung der Ablenkungswirkung geführt haben.

Hypothese 5: Die subjektive Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren, sollte, unabhängig von der Fahrsimulatorvariante, unter der Sichtbedingung „5 Grad“ im Vergleich zu der Bedingung „Trapez“ als schwieriger beurteilt werden. Für beide Varianten wurde vermutet, dass Fahrten unter der Bedingung „Trapez“ im Vergleich zu Fahrten unter der Bedingung „Standard“ als signifikant schwieriger beurteilt werden sollten. Auch wenn laut Land und Horwood (1995) alle relevanten visuellen Informationen für die Querregelung gegeben waren, sollte sich der ungewohnte Fahreindruck in der Schwierigkeitsbeurteilung niederschlagen.

Die Hypothese muss im Hinblick auf die Variante „Plasma“ als widerlegt angesehen werden. Der Unterschied in der Beurteilung zwischen den beiden Sichtbedingungen „5 Grad“ und „Standard“ ergab keine signifikant unterschiedliche Beurteilung der Schwierigkeit, obwohl den Probanden unter der Sichtbedingung „5 Grad“ relevante Informationen vorenthalten wurden. Der Vergleich zwischen den beiden Sichtbedingungen „Trapez“ und „Standard“ lieferte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in der Beurteilung. Die Sichteinschränkung schien offensichtlich nicht als so kritisch wahrgenommen worden zu sein, als dass sie sich auch in der Beurteilung der Schwierigkeit niedergeschlagen hätte. Möglicherweise konnte die gute Bildqualität die Einschränkung des Sichtfeldes teilweise ausgleichen.

Für die Variante „Projektion“ konnte die Hypothese bestätigt werden. Für diese Variante zeigte sich der vermutete Unterschied zugunsten des größeren Sichtfeldes zwischen den Sichtbedingungen „5 Grad“ und „Trapez“, was zu den Modellen hinsichtlich relevanter visueller Informationen bei einer höheren Geschwindigkeit und relativ geradem Straßenverlauf passt. Darüber hinaus zeigte sich bei dem Vergleich der beiden Sichtbedingungen „Trapez“ und „Standard“ der vermutete signifikante Unterschied in der Beurteilung der Schwierigkeit, in der vorgegebenen Spur zu fahren. Obwohl unter diesen beiden Sichtbedingungen beide Male diejenigen visuellen Informationen gegeben waren, welche gemäß Land und Horwood (1995) für eine stabile Querregelung notwendig sind, schien bei einer im Vergleich zu der Variante „Plasma“ etwas schlechteren Bildqualität die Vergrößerung des Sichtfeldes als so hilfreich wahrgenommen worden zu sein, dass es sich sogar in der subjektiven Beurteilung niederschlug.

Qualitative Effektstärkenbetrachtung

Die relative Vergleichbarkeit war bei Experiment 4 in einer Vielzahl der Fälle gegeben. Für die verschiedenen Aufgabenfahrten konnte sie sogar als hoch eingestuft werden, da lediglich in einem einzigen Fall keine relative Vergleichbarkeit gegeben war (vgl. Abbildung 11.2). Häufiger, aber nicht alarmierend oft, konnten Verletzungen der relativen Vergleichbarkeit bei der Untersuchung der unterschiedlichen Sichtbedingungen beobachtet werden. Hier betraf es vorwiegend Fahrten mit der Bearbeitung einer sekundären Aufgabe während des Fahrens und den Vergleich von eingeschränkter und uneingeschränkter Sicht (vgl. Abbildung 11.3). Bei der großen Anzahl an durchgeführten Vergleichen ist die relative Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatoren insgesamt als gut einzuschätzen. Trotzdem sollte im Hinterkopf behalten werden, dass solche Unterschiede zwischen Fahrsimulatorvarianten auftreten können und auch, wie im vorliegenden Fall, mehrere Maße bzw. Berechnungsvarianten betreffen können.

Die absolute Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten bewegte sich in derselben Größenordnung wie bei Experiment 3. Dort waren in 19% Prozent der Fälle Verletzungen der absoluten Vergleichbarkeit aufgetreten. In Experiment 4 waren in 24% der Fälle Verletzungen gegeben, jeweils betrachtet für die Fahrsimulatorvarianten unter der Sichtbedingung „Standard“, also bei voller Sicht. Damit zeigte sich für die letzten beiden Experimente eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu den ersten beiden Experimenten. Dort lag der Anteil der Verletzungen, jeweils auch für das Fahren bei voller Sicht, bei 50% bzw. bei 54%. Diese deutliche Verbesserung könnte teilweise durch die neue Projektionsleinwand, die ab Experiment 3 zum Einsatz kam, erklärt werden. Das Versuchsdesign war bei Experiment 1, Experiment 3 und Experiment 4 ein „within“ Design. Der Lenkwiderstand war bei Experiment 2, 3 und 4 identisch. Nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden konnte natürlich ein unglückliches Zusammenwirken von fehlendem bzw. vorhandenem Lenkwiderstand und Versuchsdesign in Experiment 1 und 2. Der Einfluss der Projektionsleinwand konnte leider nicht weiterführend untersucht werden, da diese während des Umzugs verloren gegangen war.

Das Verhalten der Maße ZERO und SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ war im großen und ganzen vergleichbar. Die TLC-Berechnungsvarianten zeigten jedoch Unterschiede in ihrer Sensitivität bei der Bearbeitung von kognitiven Aufgaben und der Untersuchung der unterschiedlichen Sichteinschränkungen. Es zeigte sich, dass sich bei diesen Bedingungen die beiden Berechnungsvarianten TLC_{thresh} und TLC_{pct} häufig gegenläufig in ihrer Effektrichtung zur TLC_{mean} verhielten. Oft waren Effektunterschiede von mehr als einer Stufe vorhanden.

Vom Trend her stellte sich die Betrachtung des Vergleichs der Sichtfeldeinschränkungen „5 Grad“ und „Trapez“ gegenüber der uneingeschränkten Sichtbedingung „Standard“ als interessant heraus. Hier zeigte sich die Stabilisierung für die eingeschränkte Sicht für alle beteiligten Lenkmaße mit häufigen mittleren und großen Effekten, auch für die Fahrten mit sekundärer Aufgabenbearbeitung. Bei den Spurmaßen war dieser Trend einer Stabilisierung für die uneingeschränkte Sicht nicht ganz vergleichbar. Bei der Bearbeitung der visuell-manuellen Aufgabe „Kassette“ in der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ für die Sichteinschränkung „Trapez“ zeigten sich für die Maße TLC_{thresh}, TLC_{pct} und LANEX immerhin mittlere Effekte entgegengesetzt zu dem beobachteten

Trend. Trotzdem wurde das Muster in seiner Regelmäßigkeit als ein Hinweis auf eine generelle Wirksamkeit der Sichtfeldeinschränkung auch für unterschiedliche sekundäre Aufgaben gesehen.

Einen weiteren einheitlichen Trend zeigten die Lenkmaße unter den unterschiedlichen Sichtbedingungen für die Bearbeitung einer kognitiven Aufgabe gegenüber der Basisfahrt. Alle Lenkmaße wiesen bei Vorliegen eines Effekts eine instabilere Querregelung für die sekundären kognitiven Aufgaben auf. Bei den Spurmaßen zeigte sich der bekannte gegenläufige Trend für die SDLP in mittleren bis kleinen Effekten. Die TLC_{mean} verhielt sich in durchgängig mittleren bis großen Effekten wie die Lenkmaße. Für die übrigen Spurmaße zeigten sich wechselnde Effektrichtungen, weshalb für diese kein einheitlicher Trend gegeben war. Dennoch wies dieses Muster, zumindest für die hypothesenrelevanten Spur- und alle Lenkmaße, darauf hin, dass der signifikante Befund aus Hypothese 2, der vorher so nicht vermutet worden war, für die Spur- und Lenkmaße auch unter eingeschränkten Sichtbedingungen Bestand haben könnte.

Zusammenfassung und Ausblick

Als letztem aus der Reihe von vier Experimenten fiel diesem Experiment die Aufgabe zu, Befunde und Trends aus den vorangegangenen Experimenten noch einmal aufzugreifen und genauer zu untersuchen. Ein weiteres Mal wurde die Wirkung unterschiedlicher kognitiver Aufgaben aus den Experimenten 2 und 3 analysiert. Die Wirkung einer starken Sichtfeldeinschränkung wurde erneut, bei identischem Lenkwiderstand, in beiden Fahrsimulatorvarianten untersucht. Als neuer Aspekt kam die Wirkung des Nahbereichs auf die Querregelung hinzu.

Einige der Ergebnisse von Experiment 4 wurden bereits im vorangehenden Abschnitt, unter Einbeziehung der Experimente 1 bis 3, diskutiert. Wegen des „integrierenden“ Charakters von Experiment 4 soll an dieser Stelle aber auf eine Zusammenfassung verzichtet werden. Die Ergebnisse von Experiment 4 sollen vielmehr in der nun folgenden Gesamtdiskussion experimentübergreifend erörtert werden.

12 Diskussion

Seit es das Auto gibt, gibt es auch Bestrebungen, die Fortbewegung mit diesem Verkehrsmittel sicherer zu gestalten und die Anzahl der Verkehrstoten weiter zu reduzieren. Dieses Ziel wurde früher vor allem durch technische Entlastungen bei der primären Fahraufgabe anhand von aktiven und passiven Sicherheitssystemen erreicht. In der heutigen Zeit liegt ein weiterer Schwerpunkt darin, die Ablenkungswirkung von Fahrerinformationssystemen, welche keinen Bestandteil der primären Fahraufgabe darstellen, abzusichern. Ein wichtiges Werkzeug in diesem Absicherungsprozess ist dabei der Fahrsimulator, der die Lücke zwischen Einfachmethoden, wie beispielsweise dem „Lane Change Test“, und technisch aufwändigen Realfahrten schließt. In Abhängigkeit von der zu beantwortenden Frage kann der Einsatz eines dynamischen Fahrsimulators unumgänglich sein, oftmals ist aber für die Beantwortung der Ablenkungswirkung eines neuen Fahrerinformationssystems die Untersuchung an einem kostengünstigeren statischen Fahrsimulator ausreichend.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden vier Untersuchungen an zwei statischen Fahrsimulatorvarianten, die sich hauptsächlich in der Art der Bildgebung unterschieden, durchgeführt. Es interessierte, ob durch diese Unterschiede zwischen den Varianten auch Unterschiede in den Untersuchungsergebnissen hinsichtlich bedeutsamer und oft erhobener Spur- und Lenkmaße auftraten. Zu diesem Zweck wurden an den beiden Fahrsimulatorvarianten unterschiedliche Bedingungen getestet und deren Einfluss auf die Querregelung ermittelt. Neben Faktoren wie sekundärer Aufgabenbearbeitung oder Fremdverkehr wurde auch der Einfluss von Sichtfeldeinschränkungen überprüft. Unter der Annahme, dass die Art der Bildgebung einen Einfluss auf die Querregelung hat, wurden auch gezielt Bildauflösung und visuelle Bezugspunkte in der Fahrszene untersucht.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den vier Experimenten fuhr der Proband auf einer vorgegebenen Spur mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit, die innerhalb gewisser Grenzen variieren durfte. Nach einer entsprechenden Aufforderung sollte der Proband eine vorgegebene Aufgabe bearbeiten, ohne die Geschwindigkeit zu sehr zu verringern und die primäre Fahraufgabe zu vernachlässigen. Die gefahrene Strecke bestand aus einem Autobahnrundkurs mit moderaten Kurven. Die Stichprobe setzte sich jeweils aus jungen Probanden ohne vorherige praktische Erfahrungen mit Fahrsimulatoren zusammen.

Im Folgenden sollen die Ergebnisse für die untersuchten Einflussfaktoren dargestellt werden. Diese Zusammenfassung schildert dabei zunächst die Ergebnisse für die Wirkung der Einflussfaktoren. Die Untersuchungen wurden aber mit der zusätzlichen Zielrichtung durchgeführt, die Sensitivität der Maße zu bestimmen und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse für die beiden eingesetzten Fahrsimulatorvarianten unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen zu ermitteln. Diese Ergebnisse werden schließlich nach der Diskussion der einzelnen Einflussfaktoren vorgestellt.

12.1 Einflussfaktoren auf die Querregelung

Der Einfluss des **Fremdverkehrs** wurde in Experiment 2 untersucht. Mit Ausnahme von zwei signifikanten Effekten bei der SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ wurde der Einfluss des Fremdverkehrs auf die Querregelung als sehr gering eingeschätzt. Anders als bei Chatziastros (2003) war der Fremdverkehr als beständiger Strom von links überholenden Fahrzeugen konfiguriert worden (siehe Abschnitt 7.3). Durch dieses kontinuierliche Überholen könnte bei den Probanden ein Gewöhnungseffekt eingetreten sein, weshalb sie nicht so durch entsprechende Lenkbewegungen auf den Fremdverkehr reagiert hatten, dass es sich in den Spur- und Lenkmaßen durchgängig niedergeschlagen hätte. Größere Effekte zeigte jedoch das zur qualitativen Betrachtung zusätzlich erhobene Maß MLP. Dieses Maß bildete bei Vorhandensein von Fremdverkehr, in vorwiegend mittleren und großen Effekten, eine stärkere Ausrichtung zur rechten Spurmarkierung ab. Dies wurde wiederum als Hinweis darauf gesehen, dass die Probanden die überholenden Fahrzeuge als potentielle Gefahr ansahen, auf die sie mit einer entfernteren Position, bezogen auf den Fremdverkehr, reagierten. Der Fremdverkehr steigerte sicherlich die ökologische Validität und sorgte auf diese Weise für eine gewisse emotionale Beteiligung des Probanden während der Versuchsfahrten (vgl. auch Uhr et al., 2003). Aus diesem Grund wurde die Fremdverkehrkonfiguration für alle nachfolgenden Experimente beibehalten.

Den ersten betrachteten Einflussfaktor auf die Querregelung stellte das **periphere Sehen** dar. Für diesen Einflussfaktor wurde das Sichtfeld auf einen Bereich von 5 Grad eingeschränkt, also auf den fovealen und Teile des parafovealen Bereichs beschränkt (vgl. Pöppel & Harvey, 1978), in Strasburger (2003). Den damit einhergehenden Verlust des peripheren Sehens untersuchten auch Owens und Tyrrell (1999) mit einer noch extremeren Sichtfeldeinschränkung auf 1.7 Grad, einem Einfachsimulator und sehr geringen Versuchspersonenzahlen (vgl. Abschnitt 3.1.2). Sie fanden einen signifikanten Einfluss auf die Querregelung, die sich in einem nicht näher beschriebenen Maß „Steuergenauigkeit“ (steering accuracy) äußerte. Hinweise für den Einfluss des peripheren Sehens auf die Querregelung wurden auch von Summala et al. (1996) gefunden. Land und Horwood (1995) fanden ebenfalls Hinweise auf den Einfluss des peripheren Sehens, was von Chatziastros et al. (1999) in einer Replikation mit einem technisch fortgeschritteneren Fahrsimulator nicht bestätigt werden konnte.

Die Untersuchung der Sichtfeldeinschränkung an den beiden Fahrsimulatorvarianten ergab für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ eine signifikant stabilere Querregelung aller Spur- und Lenkmaße, wohingegen diese für einige Lenkmaße bei der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ nicht nachgewiesen werden konnte. Indes war unklar, ob die Unterschiede durch die unterschiedlichen visuellen Eigenschaften der bildgebenden Systeme der beiden Varianten hervorgerufen worden waren, oder ob der nicht intendiert unterschiedliche Lenkwiderstand dafür verantwortlich gewesen war. Hinweise auf mögliche Unterschiede, hervorgerufen durch eine unterschiedliche Auflösung, lieferten Chatziastros et al. (1999), die das Experiment von Land und Horwood (1995) jeweils an einem Aufbau mit Projektion und einem Aufbau mit Bildschirm durchführten.

Die Sichtfeldeinschränkung wurde in Experiment 4 nochmals aufgegriffen und mit identischem Lenkwiderstand untersucht. Die Sichtfeldeinschränkung auf 5 Grad war in Experiment 4 aber starr in der Fahrszene realisiert, so dass zusätzlich die von Land und Horwood (1995) vermutete Wirkung des peripher wahrgenommenen Nahbereichs untersucht werden konnte. Die Sichtfeldeinschränkung auf 5 Grad ergab in Experiment 4, für beide Fahrsimulatorvarianten, signifikante Ergebnisse für alle Spur- und Lenkmaße der Hypothesenprüfung. Die Effektrichtung für die Maße TLC_{mean} und SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ drehte sich dabei unerwartet um und zeigte die erwartete stabilere Querregelung stattdessen für die Fahrt mit eingeschränkter Sicht. Diese Wirkung könnte durch den, auch von Chatziastros (1999) vorgeschlagenen, Einfluss eines Referenzrahmens, gebildet durch den starren 5 Grad Ausschnitt, erklärt werden (vgl. auch Wann & Land, 2000). Der starre 5 Grad Ausschnitt der Fahrszene zeigte also die zunächst erstaunlich erscheinende Wirkung, dass zwar eine erhöhte Variabilität der Spurposition auftrat, diese aber durch geringere Lenkaktivität erreicht wurde. Dass dies kein Widerspruch sein muss, verdeutlichen die Überlegungen aus Abbildung 5.1. Hier werden zwei identische SDLP-Werte durch stark unterschiedliches Lenkverhalten erzeugt. Es darf auch nicht vergessen werden, dass manche Lenkbewegungen durch die Trägheit des Autos nicht unbedingt eine Wirkung auf die Spurposition des Fahrzeugs haben.

Die zusätzliche Einblendung des Nahbereichs ergab für eine Basisfahrt, im Vergleich zu dem 5 Grad Ausschnitt, lediglich eine signifikant stabilere Querregelung für die SDLP, hatte aber keinen Effekt auf die TLC_{mean} und die Lenkmaße. Das Ergebnis stützte insgesamt das Resultat von Land und Horwood (1995). Der Nahbereich wurde herangezogen, um eine stabilere Querregelung bezüglich der Spurvariabilität zu erreichen ohne allerdings ein signifikant verändertes Lenkverhalten hervorzurufen.

Ein weiterer wichtiger Untersuchungsschwerpunkt war der Einfluss von **sekundärer Aufgabenbearbeitung** auf die Querregelung. Diese Art von Untersuchung ist typisch für das Testen der Ablenkungswirkung von Fahrerinformationssystem-Prototypen. Während der primären Fahraufgabe wird zeitgleich der Prototyp als sekundäre Aufgabe bedient. In Abhängigkeit von dem Prototypen führt dieses Bedienen zu einer mehr oder weniger starken Interferenz mit der primären Fahraufgabe.

Die Wirkung solcher sekundärer Aufgaben kann mit Hilfe des multiplen Ressourcenmodells von Wickens (1984) abgeschätzt werden. Während für die visuell-manuellen Aufgaben eine starke Interferenz mit der primären Fahraufgabe angenommen werden kann (vgl. beispielsweise Östlund et al., 2004), wird die Wirkung des Einflusses von kognitiver sekundärer Aufgabenbearbeitung noch nicht gänzlich begriffen. Auch Johansson et al. (2004, S.16) gaben zu, dass die Zusammenhänge zwischen der eigentlichen Fahraufgabe, sekundärer Aufgabenbearbeitung und dem resultierenden Fahrverhalten komplex sind und noch nicht vollständig verstanden werden. Engström et al. (2005) berichteten von einer Stabilisierung der SDLP durch die Bearbeitung einer kognitiven Aufgabe.

Daher wurde der Einfluss sekundärer Aufgabenbearbeitung mit einer visuell-manuellen Aufgabe und kognitiven Aufgaben untersucht. Für die sekundäre visuell-manuelle Aufgabe wurde aufgrund des Ressourcenmodells von Wickens und den vorliegenden Befunden aus der Literatur eine große Wirkung auf die Querregelung

vermutet. Bei der kognitiven Aufgabe war von Interesse, ob sich die Befunde von Engström et al. (2005) replizieren ließen. Obwohl der Einfluss der visuell-manuellen Aufgabe als gesichert erschien, wurde diese trotzdem untersucht, da auch die Sensitivität der unterschiedlichen Maße interessierte und die beiden Fahrsimulatorvarianten verglichen werden sollten.

Der Einfluss der visuell-manuellen Aufgabe erwies sich in allen Experimenten als sehr stark und zeigte in den Maßen, die zur Hypothesenprüfung herangezogen wurden, durchwegs gleichsinnige signifikante Effekte. Der stabilisierende Einfluss der kognitiven Aufgabenbearbeitung zeigte sich in Experiment 2 ebenfalls für die SDLP, was zu den Befunden von Engström et al. (2005) passt. Zusätzlich wurde aber, anders als bei Engström et al. (2005), für die $SRR_{0.4}$ ein signifikantes Ergebnis im Sinne einer Zunahme an Lenkaktivität gefunden. Dies hatte sich bei Engström et al. (2005) für die Fahrsimulatoruntersuchung nur angedeutet, in einer ebenfalls von den Autoren durchgeführten Realfahrt aber gezeigt. Zusätzlich zeigte sich in Experiment 2 ein signifikantes Ergebnis für das Maß TLC_{mean}. Für die kognitive Aufgabe zeigte das Maß die kleineren Werte, also, wie die $SRR_{0.4}$, eine, nach den für diese Arbeit festgelegten Kriterien, instabilere Querregelung. Eine qualitative Effektstärken- bzw. Effektrichtungsbetrachtung über alle verwendeten Spur- und Lenkmaße hinweg zeigte einen bemerkenswerten Trend. Alle Spurmaße, mit Ausnahme der TLC_{mean}, wiesen tendenziell die stabilere Querregelung für die kognitive Aufgabe auf. Die Lenkmaße, zusammen mit der TLC_{mean}, deuteten jedoch eine instabilere Querregelung bzw. erhöhte Lenkaktivität an.

Das Ausbleiben eines signifikanten Ergebnisses für die SRR bei Engström et al. (2005) könnte durchaus auf die in Abschnitt 4.3 vorgestellte Schwierigkeit bei der Vergleichbarkeit von Simulatoruntersuchungen zurückzuführen sein. Andererseits handelte es sich bei der in Experiment 2 verwendeten Aufgabe, wie bei Engström et al. (2005), um eine rein kognitive Aufgabe ohne zusätzlichen sensorischen Input. Gemeinsam war den beiden Aufgaben ein gewisser artifizieller Charakter, da solche Aufgaben üblicherweise nicht während des Autofahrens ausgeführt werden.

Vor diesem Hintergrund wurde in Experiment 3 eine weitere kognitive Aufgabe mit mehr Praxisbezug gewählt, die auch über auditorischen Input verfügte. Die Aufgabe, mittels Handy und Freisprecheinrichtung Auskünfte zu Bahnverbindungen einzuholen, war auch deshalb interessant, weil die Metaanalyse von Horrey und Wickens (2004) zu solchen, die Handynutzung betreffenden, Studien keine Einflüsse auf die Querregelung erkennen ließ. Tatsächlich zeigten sich für die kognitive Aufgabe „Bahnauskunft“ nur teilweise signifikante Ergebnisse, eher für die Fahrsimulatorvariante „Projektion“. Einzig das Maß $SRR_{0.4}$ bildete für beide Fahrsimulatorvarianten die erwartete signifikant instabilere Querregelung für die kognitive Aufgabe ab.

Da jedoch von Experiment 2 zu Experiment 3 das Versuchsdesign für den Faktor VARIANTE von „within“ auf „between“ gewechselt hatte, und zudem die Vergleichbarkeit durch den Wechsel der Projektionsleinwand eingeschränkt war, wurden in Experiment 4 die beiden kognitiven Aufgaben gemeinsam getestet, um das bisherige Ergebnis hinsichtlich der unterschiedlichen Wirkung der beiden kognitiven Aufgaben zu replizieren. Entgegen der Vermutung zeigten in Experiment 4 aber beide kognitive Aufgaben dieselben signifikanten Ergebnisse wie bei Experiment 2 für die Rechenaufgabe. Die

Trendbetrachtung für die Effektrichtung bei den übrigen Spurmaßen und die Effektgrößenbetrachtung bei der TLC_{mean} und den Lenkmaßen könnte jedoch einen tendenziellen Unterschied vermuten lassen.

Experiment 2 und Experiment 4 unterstützten damit für die Aufgabe „Rechnen“ die Befunde von Engström et al. (2005). Für die kognitive Aufgabe „Bahnauskunft“ unterstützte nur Experiment 4 diese Befunde vollständig. Warum diese Ergebnisse in Experiment 3 nur teilweise auftraten, kann nicht schlüssig erklärt werden. Die Randbedingungen der beiden Experimente waren unverändert, die Versuchspersonenzahlen nahezu identisch und hinsichtlich der erhobenen demografischen Daten zeigten sich ebenfalls keine Auffälligkeiten.

Der Einfluss der **Bildqualität,** der **vertikalen Balken** und des **Sichtfeldes** wurde in Experiment 3 untersucht. Chatziastros et al. (1999) vermuteten, dass die Bildqualität bzw. die Auflösung einen Einfluss auf die Querregelung haben könnte, da hier die Qualität des optischen Flusses unterschiedlich ist. Auch Wann und Land (2000) zeigten, dass Flussinformationen für die Steueraufgabe herangezogen werden können. Zusätzlich weisen die Autoren auf die Wichtigkeit eines visuellen Bezugspunkts hin, was auch von Chatziastros et al. (1999) als mögliche Einflussquelle genannt wurde.

Bei den untersuchten Fahrsimulatorvarianten der BMW Group waren die drei genannten Faktoren die unterscheidenden Merkmale. Die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ verfügte über ein größeres horizontales und vertikales Sichtfeld. Die Fahrsimulatorvariante „Plasma“ hatte die höhere Auflösung und durch den Monitorrahmen einen deutlichen zusätzlichen visuellen Bezugspunkt. Die Fahrsimulatorvariante „Projektion“ hatte jedoch ebenfalls dadurch, dass die Motorhaube der Sitzkiste Teile der Fahrszene verdeckte, einen visuellen Bezugspunkt aufzuweisen, welcher der Variante „Plasma“ fehlte. Im Rahmen der technischen Möglichkeiten wurden diese Einflussfaktoren in Experiment 3 variiert.

Insgesamt stellte sich heraus, dass die einzeln betrachteten Eigenschaften der Fahrsimulatoren keinen Einfluss auf die Querregelung hatten. Weder das Vorhandensein von vertikalen Balken noch ein größeres vertikales und horizontales Sichtfeld noch die höhere Auflösung der Fahrsimulatorvariante „Plasma“ zeigten signifikante Effekte. Der Grund für dieses Nichteintreffen der Wirkung, die wegen theoretischer Überlegungen aus der Literatur und der Befunde von Chatziastros et al. (1999) sowie Experiment 1 und 2 vermutet wurde, könnte in dem Wechsel der Projektionsleinwand begründet gewesen sein. Allerdings war bei Experiment 1 der Lenkwiderstand nicht intendiert unterschiedlich und bei Experiment 2 musste das Versuchsdesign aus Zeit- und Kapazitätsgründen so gewählt werden, dass verstärkt Versuchsgruppenunterschiede hätten auftreten können. Festzuhalten bleibt, dass mit der Modifikation der Fahrsimulatorvariante „Projektion“, wie sie ab Experiment 3 vorlag, keine Unterschiede bezüglich Bildqualität, Bezugsrahmen bzw. Sichtfeldunterschied gefunden werden konnten.

12.2 Sensitivität der Maße und Vergleichbarkeit der Fahrsimulatorvarianten

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit, neben der Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren, war die Frage der Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten, da sich in der Literatur Hinweise finden, dass die Art des Fahrsimulators Einfluss auf die Ergebnisse haben könnte (vgl. Abschnitt 4.3). In diesem Zusammenhang wurden, in Anlehnung an die Validierung von Fahrsimulatoren in Bezug auf eine Realfahrt, die Begriffe der relativen und absoluten Vergleichbarkeit geprägt.

Mit relativer Vergleichbarkeit war gemeint, dass die Ergebnisse eines identischen Treatments an den beiden Fahrsimulatorvarianten vergleichbar ausfielen. Diese Vergleichbarkeit wurde im Rahmen der Arbeit durch eine qualitative Effektstärkenbetrachtung geprüft. Relative Vergleichbarkeit war gegeben, wenn sich die Effektstärken um nicht mehr als eine Stufe unterschieden (vgl. auch Abschnitt 7.4.2).

Bei der absoluten Vergleichbarkeit wurde der Effekt betrachtet, den eine Bedingung bei dem direkten Vergleich der beiden Fahrsimulatorvarianten hervorruft. Auch diese Art der Vergleichbarkeit wurde durch eine qualitative Effektstärkenbetrachtung geprüft. Absolute Vergleichbarkeit wurde angenommen, wenn die aus dem direkten Vergleich resultierende Effektstärke klein oder nicht vorhanden war.

Die relative Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten wurde als gut eingestuft. Für die visuell-manuelle Aufgabenbearbeitung war die relative Vergleichbarkeit sogar für alle Maße, über alle Experimente hinweg, gegeben. Diese Art der sekundären Aufgabenbearbeitung sorgte beim Vergleich mit einer Basisfahrt, mit durchwegs großen bis mittleren Effekten, für eine Art Deckeneffekt. Anders lag der Fall für die kognitive Aufgabenbearbeitung, den Einfluss des Fremdverkehrs oder die Untersuchung der visuellen Eigenschaften der beiden Fahrsimulatorvarianten. Hier gab es vereinzelte Fälle, in denen die relative Vergleichbarkeit nicht gegeben war. Diese Verletzungen der relativen Vergleichbarkeit betrafen, über alle Experimente hinweg gesehen, alle untersuchten Maße. Jedoch war ihre Anzahl insgesamt eher gering, weshalb die relative Vergleichbarkeit alles in allem als gut eingestuft wurde. Der Umstand, dass solche Verletzungen auftreten können, sollte aber nicht vergessen werden. Ein solcher Sprung von mehr als einer Effektstufe schlägt sich wahrscheinlich auch in signifikanten bzw. nicht signifikanten Ergebnissen nieder. Nicht vergessen werden darf auch, dass es sich hier um eine rein qualitative Betrachtung handelte, bei der benachbarte Effektstufen nicht als Verletzung gesehen wurden. Diese Unterschiede wurden über die Experimente hinweg häufiger beobachtet und könnten ebenfalls im ungünstigen Fall über Signifikanzen entscheiden. Vor diesem Hintergrund ist es sicherlich empfehlenswert, vorbeugend eine größere Anzahl an Maßen zu erheben.

Die absolute Vergleichbarkeit der beiden Fahrsimulatorvarianten war in den ersten beiden Experimenten in der Hälfte der Fälle nicht gegeben. In den letzten beiden Experimenten pendelte sich der Anteil der Verletzungen auf ca. 20 % ein. Aufgrund der bereits genannten Unterschiede in Lenkwiderstand, Versuchsdesign und Wechsel der Projektionsleinwand zwischen den ersten und den letzen beiden Experimenten, ist es nicht ganz einfach, eine plausible Erklärung zu finden. Da sich die Versuchspersonengruppen im „between“ Design von Experiment 2 nicht erkennbar unterschieden, spricht

einiges dafür, dass sich der Wechsel der Projektionsleinwand positiv auf die absolute Vergleichbarkeit ausgewirkt haben könnte. Trotzdem ist auch ein Anteil von 20 % noch relativ hoch. Vor diesem Hintergrund scheint es schwierig, bei den Maßen für Fahrsimulatoren feste Grenzen für Fahrfehler zu definieren (vgl. Nirschl et al., 2004). Diese müssten für jedes Maß für den entsprechenden Fahrsimulator individuell festgelegt werden, damit nicht Eigenschaften des Fahrsimulators gemessen werden.

Mit Hilfe der qualitativen Effektstärkenbetrachtung konnten auch Aussagen über die Sensitivität bzw. das Verhalten der Maße für die einzelnen Bedingungen getroffen werden. Für die Bearbeitung der visuell-manuellen Aufgabe war die Sensitivität für alle Maße in vorwiegend großen und mittleren Effekten mit einheitlicher Richtung in allen Experimenten, in denen die sekundäre Aufgabe getestet wurde, gegeben. Schwieriger war die Beurteilung der Sensitivität für die Maße im Hinblick auf die übrigen getesteten Einflussfaktoren. Hier ließ sich bei dem Vergleich der untersuchten Maße innerhalb einer Bedingung feststellen, dass sich häufig ein oder mehrere Maße um mehr als eine Effektstärkenstufe voneinander unterschieden. Besonders unschön waren diejenigen Fälle, in denen einige Maße große und mittlere Effekte hatten, bei anderen jedoch kein Effekt auftrat. Neben dem beobachteten Verhalten, dass manche Maße für dieselbe Bedingung ihre Effektrichtung ändern, führt diese unterschiedliche Sensitivität am ehesten zu Fehlinterpretationen, wenn nur wenige Maße erhoben werden. Aufgrund dieser Ergebnisse scheint es ratsam, in Untersuchungen mehrere Maße zu erheben.

Welche Maße dazu am besten herangezogen werden sollten, kann nicht ganz einfach beantwortet werden, da, ähnlich wie bei den Verletzungen der relativen Vergleichbarkeit, unterschiedliche Maße ohne erkennbares Muster an den Sensitivitätsunterschieden beteiligt waren. Eine Auszählung der Fälle, in denen Maße bei Bedingungen, in denen wenigstens zwei Maße mittlere oder große Effekte zeigten, keinen Effekt abbildeten, ergab, dass die SDLP am besten und die SDST am schlechtesten abschnitt. Die genaue Reihenfolge, inklusive der Fallzahlen in Klammern, stellte sich folgendermaßen dar: SDLP (6), SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ (9), ZERO (9), TLC_{mean} (10), TLC_{thresh} (10), TLC_{pct} (11), LANEX (11), HFC (11) und SDST (13).

Wird die erste Hälfte der aufgelisteten Maße herangezogen, würden sich die Maße SDLP, SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$, ZERO, TLC_{mean} und TLC_{thresh} empfehlen. In die Entscheidung sollte außerdem der Aspekt der Berechnungsvarianten einfließen. Ein gezielter Vergleich von Berechnungsvarianten bzw. Maßen mit unterschiedlichem Berechnungsaufwand hatte bei der experimentalübergreifenden Betrachtung folgende Ergebnisse geliefert: Im Falle von SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ und ZERO zeigte sich anhand der Abbildungen zur relativen Vergleichbarkeit über alle Experimente hinweg, dass in 68 untersuchten Bedingungen nur vier Fälle vorkamen, in denen die Effektstärken um mehr als zwei Stufen differierten. In 24 Fällen unterschieden sich die Effektstärken um jeweils eine Stufe, wobei in 13 Fällen das Maß ZERO sensitiver war und in 11 Fällen das Maß SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$. Die Effektrichtungen waren in allen Fällen identisch. Vor dem Hintergrund dieser Daten wird das Verhalten dieser beiden Maße als vergleichbar angesehen. Einen leichten Vorteil bildete die SRR insofern ab, als dass von den vier Fällen, in denen ein Effektstärkenunterschied von mehr als einer Stufe vorlag, ZERO dreimal und die SRR nur einmal keinen Effekt zeigte.

Abgesehen von dem Vergleich bei visuell-manueller Aufgabenbearbeitung gestaltete sich der Vergleich der Berechnungsvarianten für die übrigen Bedingungen etwas schwieriger. Zunächst einmal bleibt festzuhalten, dass sich das Maß TLC_{mean} oftmals entgegengesetzt zu den anderen Spurmaßen verhielt und sich von der Effektrichtung her eher wie ein Lenkmaß verhielt. In anderen Fällen trat auch häufig ein Unterschied von mehr als zwei Effektstärkestufen zwischen der TLC_{mean} auf der einen Seite und TLC_{thresh} sowie TLC_{pct} auf der anderen Seite auf. Vor diesem Hintergrund kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese drei Berechnungsvarianten identisch sind. Das Maß TLC_{mean} misst anschienend andere Aspekte der Querregelung als es die Berechnungsvarianten TLC_{thresh} und TLC_{pct} tun. Unter Umständen liegt der Unterschied auch in der Wahl der Schwellwerte für TLC_{thresh} und TLC_{pct} begründet. Es wäre möglich, dass sich das Maßverhalten bei anderer Wahl der Schwellwerte eher dem der TLC_{mean} angleicht. Bei den für diese Untersuchungen gewählten Schwellwerten verhielten sich TLC_{thresh} und TLC_{pct} in manchen Fällen durchaus wie die TLC_{mean}, in anderen Fällen eher wie die SDLP.

Abschließend kann daher die Empfehlung gegeben werden, in Untersuchungen die Maße SDLP und SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ oder auch ZERO zu verwenden, da sich diese als sensitiv für viele Bedingungen gezeigt haben. Zur Erkennung bestimmter Steuerstrategien empfiehlt es sich darüber hinaus, das Maß TLC_{mean} zu erheben, welches sich bei manchen Bedingungen analog zur SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ verhalten hatte. Das Maß LANEX kann, wegen seiner guten Augescheinvalidität, ergänzend erhoben werden. In den vorliegenden Experimenten zeigte das Maß in aller Regel gleiche Effektrichtungen wie die SDLP, wobei häufig die Sensitivität der SDLP höher war.

Als zusätzliches Maß zur Erkennung bestimmter Fahrstrategien ist auch das Maß MLP interessant. Trendbetrachtungen zeigten, dass durch das Bearbeiten einer Aufgabe eher eine Ausrichtung zur rechten Spurmarkierung hin erfolgte. In Experiment 2 war die MLP das einzige Maß, das in mittleren und in hohen Effekten ebenfalls eine solche Ausrichtung bei Vorliegen von Fremdverkehr zeigte. Bei dem Vergleich der Fahrsimulatorvarianten zeigte sich, abgesehen von Experiment 1, welches aber nicht intendierte Unterschiede im Lenkwiderstand aufwies, eine tendenzielle Ausrichtung zur rechten Spurmarkierung für die Fahrsimulatorvariante „Plasma“, was auf die vertikalen Balken zurückzuführen sein könnte.

12.3 Bewertung und Ausblick

Hinsichtlich des gewählten Untersuchungsansatzes kann zu Recht eingewendet werden, dass die externe Validität darunter litt, dass die Probanden den Zeitpunkt der Aufgabenbearbeitung nicht selbst bestimmen konnten und während der Bearbeitung einen gewissen Geschwindigkeitskorridor einhalten mussten. Anpassungen, wie sie Fahrer bei Realfahrten vornehmen, wurden im Hinblick auf eine bessere Vergleichbarkeit bewusst unterbunden. Die externe Validität wurde auch durch die Wahl der Versuchspersonengruppe eingeschränkt. Es wurden jüngere Fahrer mit vorwiegend höherer Fahrleistung betrachtet, da im Rahmen der Experimente, auch aus Aufwandsgründen, die Einflussfaktoren Alter und Fahrleistung nicht variiert werden sollten.

Die angesprochene Vergleichbarkeit wurde durch den nicht intendiert unterschiedlichen Lenkwiderstand und den umzugsbedingten Wechsel der Projektionsleinwand erschwert. Auch wurden im Anschluss an Experiment 2 die Streckenabschnitte des Rundkurses und das Versuchsdesign weiter optimiert. Zumindest tendenziell zeigte sich hier, dass diese eher gering anmutenden Unterschiede eine Wirkung haben können und deswegen sorgfältig kontrolliert werden sollten. Bezüglich der Vergleichbarkeit schnitten Experiment 3 und 4 am besten ab.

Die eingangs angesprochenen Einschränkungen bezüglich der externen Validität sorgten aber für eine höhere interne Validität der Untersuchung, da die Wirkung einer Bedingung besser der jeweiligen Bedingung als anderen Einflussfaktoren zugeschrieben werden konnte. Die eingesetzte Konfiguration von Fremdverkehr erhöhte für Experiment 3 und 4 zudem die ökologische Validität.

Die vorliegenden Experimente zeigten zunächst, dass die eingesetzten Fahrsimulatorvarianten, je nach untersuchtem Einflussfaktor, gute bis sehr gute Vergleichbarkeit bezüglich der Ergebnisse liefern. Die vorgenommenen Effektstärkenvergleiche und ihre graphische Aufbereitung erwiesen sich als brauchbares Werkzeug, um Fahrsimulatorvarianten bezüglich des Maßverhaltens qualitativ miteinander zu vergleichen und Tendenzen bezüglich des Steuerverhaltens unter unterschiedlichen Bedingungen aufzuzeigen.

Weitere Untersuchungen sollten überprüfen, ob die gefundenen Ergebnisse und Trends für die einzelnen Maße auch für andere Altersgruppen und Fahrer mit unterschiedlicher Fahrleistung stabil sind. Der Einfluss von anderen Streckenführungen auf das Maßverhalten sollte ebenfalls betrachtet werden. Interessant könnte auch die Untersuchung unterschiedlicher kognitiver und visuell-manueller oder auch visuell-kognitiver Aufgaben bezüglich ihrer Wirkung auf die unterschiedlichen Maße sein. Mit der hier vorgestellten Effektstärkenbetrachtung und graphischen Aufbereitung könnte eventuell eine qualitative Klassifizierung unterschiedlicher sekundärer Aufgaben vorgenommen werden. Auch der Vergleich unterschiedlicher Fahrsimulatoren könnte so in einfacher Weise zumindest qualitativ abgeschätzt werden, vorausgesetzt, es werden identische Bedingungen untersucht. Für den Vergleich von Realfahrten und Fahrsimulatoren könnte sich diese Art der Betrachtung ebenfalls gut eignen.

Die hier vorgestellte Art der Effektstärkenbetrachtung wurde bewusst auf eine qualitative Grundlage gestellt. Vergleiche fanden auf Grundlage von vollen Effektstufen statt, wobei benachbarte Stufen gleicher Effektrichtung als vergleichbar angesehen wurden. Dadurch wurde vermieden, dass Effektstärken, die sich vom Wert her nahe der Grenze von zwei Effektstärkenstufen befanden, als bedeutender Unterschied gesehen wurden. Andererseits wurde durch die vorliegende qualitative Betrachtung auch der umgekehrte Fall, nämlich dass sich die Effektstärken in zwei benachbarten Stufen an der jeweils unteren und oberen Grenze befanden, nicht aufgedeckt. Eventuell lässt sich das hier vorgestellte qualitative Verfahren erweitern, so dass die tatsächlichen Unterschiede zwischen den Effekten besser abgebildet werden. Diese Methodik könnte einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die Anzahl der Verkehrstoten zu verringern.

13 Zusammenfassung

Autofahren ist eine komplexe Tätigkeit, bei der viele Informationen richtig zueinander in Beziehung gesetzt werden müssen, damit es nicht zu Unfällen kommt. Diese Tatsache wird aber, gerade vor dem Hintergrund, dass Vorgänge, wie beispielsweise das Wechseln des Ganges, durch immer mehr Fahrpraxis zunehmend automatisiert ablaufen, eher unterschätzt. Hinzu kommt, dass immer mehr Fahrerinformationssysteme ins Auto Einzug gehalten haben. Bei diesen Systemen steht nicht mehr die primäre Fahraufgabe im Vordergrund. Vielmehr liefern sie zusätzliche Informationen für die Fahrt.

Mit dem Ziel, die Anzahl der Verkehrstoten trotz der steigenden Zahl von Verkehrsteilnehmern, kontinuierlich zu senken, werden neue Fahrerinformationssysteme im Hinblick auf ihre potentielle Ablenkungswirkung gründlich getestet, bevor sie tatsächlich serienmäßig ins Fahrzeug eingebaut werden. Die Bandbreite dieser Tests reicht von sehr einfachen Methoden, die einen ersten Eindruck der Schwachstellen vermitteln, bis hin zu technisch aufwändigen Realfahrten auf dem Testgelände. Eine wichtige Methode in diesem Spannungsfeld stellen Fahrsimulatoren dar.

Während relativ viele Untersuchungen vorliegen, in denen Fahrsimulatoren unterschiedlicher Komplexität im Hinblick auf ihre Untersuchungsergebnisse verglichen wurden bzw. Validierungsuntersuchungen hinsichtlich Realfahrten durchgeführt wurden, finden sich kaum Untersuchungen, die Fahrsimulatorvarianten einer Kategorie miteinander vergleichen. Der Frage, inwieweit zwischen solchen Fahrsimulatorvarianten absolute und relative Vergleichbarkeit gegeben ist, wurde in der vorliegenden Arbeit im Rahmen von vier Experimenten nachgegangen.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf den unterschiedlichen Maßen zur Bestimmung der Stabilität der Querregelung. Zehn Maße bzw. Berechnungsvarianten wurden zusätzlich zu den statistischen Hypothesenüberprüfungen einer qualitativen Effektstärkenbetrachtung unterzogen. Anhand von unterschiedlichen Einflussfaktoren, wie die Bearbeitung verschiedener sekundärer Aufgaben, Einschränkungen des Sichtfeldes, das Vorhandensein bzw. das Fehlen von Fremdverkehr sowie spezifische Eigenschaften der statischen Fahrsimulatorvarianten, konnte überprüft werden, welche Maße sich für viele Einflussfaktoren als besonders sensitiv erweisen und deshalb Bestandteil von Fahrsimulatoruntersuchungen sein sollten.

Deutliche Auswirkungen auf die Stabilität der Querregelung hatten sowohl Sichtfeldeinschränkungen als auch die Bearbeitung einer sekundären visuell-manuellen Aufgabe. Für die sekundären kognitiven Aufgaben konnte die stabilere Querreglung für das Maß SDLP repliziert werden. Darüber hinaus zeigte sich eine Abnahme der Lenkaktivität. Weniger gut geeignet schienen die betrachteten Maße für die Abbildung des Einflusses von Fremdverkehr sowie der spezifischen Eigenschaften der statischen Fahrsimulatorvarianten zu sein.

Insgesamt zeigte sich, trotz der Unterschiede in der Bildgebung, eine gute relative Vergleichbarkeit zwischen den beiden betrachteten statischen Fahrsimulatorvarianten. Die absolute Vergleichbarkeit wurde jedoch in etwa einem Fünftel der untersuchten

Bedingungen verletzt. Stimmen also wichtige Rahmenbedingungen wie Lenkwiderstand und Mindestauflösung, können Ergebnisse aus unterschiedlichen Fahrsimulatorvarianten durchaus miteinander verglichen werden. Der direkte Vergleich von Messwerten aus Fahrsimulatoruntersuchungen ist aufgrund der eingeschränkten absoluten Vergleichbarkeit eher schwierig.

Für die Mehrzahl der betrachteten Einflussfaktoren haben sich die Spurmaße SDLP, TLC_{mean} und LANEX als besonders gut geeignet erwiesen. Auf der Seite der Lenkmaße kann die SRR_2 bzw. $SRR_{0.4}$ oder auch das Maß ZERO empfohlen werden. Zusätzlich sollte darüber hinaus das Strategiemaß MLP berücksichtigt werden.

A.1 Experiment 1

A.1.1 Fragebögen

A.1.1.1 Fragebogen A1

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst spontan und ohne großes Nachdenken. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Alter: _____ Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐

Beruf: _____

Führerscheinbesitz seit ___ Jahren

Ich benötige eine Brille...

- zum Autofahren: Ja ☐ Nein ☐
- zum Lesen: Ja ☐ Nein ☐

Ich bin hinsichtlich folgender Farben farbenblind bzw. besitze eine Farbschwäche:

Rot/Grün ☐ Blau/Gelb ☐

Darüber hinaus unterscheidet sich mein Sehvermögen hinsichtlich folgender Parameter von dem eines gesunden Auges:

_____

_____

Ich fahre derzeit folgende PKWs...

	Marke	Typ
1		
2		
3		

Wie viele km fahren Sie durchschnittlich in einem Jahr?

Weniger als 5.000 km	5.000-10.000 km	10.000-20.000 km	Mehr als 20.000 km
☐	☐	☐	☐

Folgende Geräte nutze ich privat oder beruflich:

☐ PC

☐ Touchpad am Notebook

☐ Mobiltelefon

☐ Navigationssystem im PKW

Spielen Sie privat Computerspiele? Ja ☐ Nein ☐

Wie häufig spielen Sie Computerspiele mit einem Spiellenkrad?

Nie ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ immer

Haben Sie Erfahrung mit Fahrsimulatoren? Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, wie oft sind Sie bereits mit einem Fahrsimulator gefahren?

0 ☐ 1-2 ☐ 3-5 ☐ 5-10 ☐ >10 ☐

Haben Sie Erfahrungen mit anderen Arten von Simulatoren?

Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, mit welchen?

_____

_____

A.1.1.2 Fragebogen A2a

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst spontan und ohne großes Nachdenken. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Wie war es für Sie, mit eingeschränktem Sichtfeld im Fahrsimulator zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, mit eingeschränktem Sichtfeld die Spurwechsel durchzuführen?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, die gewünschte Geschwindigkeit zu halten?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

A.1.1.3 Fragebogen A2b

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst spontan und ohne großes Nachdenken. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Wie war es für Sie, im Fahrsimulator zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, die Spurwechsel durchzuführen?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie realitätsnah finden Sie die Simulation?

Überhaupt nicht realitätsnah ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr gelungen

Wenn nicht realitätsnah, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, die gewünschte Geschwindigkeit zu halten?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Hatten Sie den Eindruck, eine realitätsnahe Straße zu befahren?

Überhaupt nicht ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ absolut

Wenn nicht, weshalb?

_____

_____

A.1.1.4 Fragebogen - Abschluss

Ist Ihnen während des Versuch beim Fahren schlecht geworden?

Ja ☐ Nein ☐

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Fahrsimulator?

_____
_____
_____

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Versuch insgesamt?

_____
_____
_____

Möchten Sie über die Ergebnisse der Untersuchung informiert werden?

Ja ☐ Nein ☐

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

A.1.2 Zusätzliche Maße qualitative Effektstärkenbetrachtung: Mittelwerte und Standardfehler

Tabelle A.1.1 Maß TLC_{thresh} Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„5 Grad“	0.40 (0.04)	0.47 (0.04)
	„Standard“	0.21 (0.02)	0.15 (0.02)

Tabelle A.1.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„5 Grad“	0.25 (0.03)	0.25 (0.03)
	„Standard“	0.13 (0.02)	0.07 (0.01)

Tabelle A.1.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„5 Grad“	0.97 (0.16)	1.17 (0.17)
	„Standard“	0.35 (0.06)	0.18 (0.04)

Tabelle A.1.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„5 Grad“	1.73 (0.03)	1.57 (0.03)
	„Standard“	1.80 (0.04)	1.76 (0.03)

Tabelle A.1.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„5 Grad“	0.05 (0.01)	0.05 (0.01)
	„Standard“	0.03 (0.00)	0.02 (0.00)

Tabelle A.1.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler

		VARIANTE	
		„Plasma“	„Projektion“
SICHT	„5 Grad“	3.34 (0.21)	4.83 (0.33)
	„Standard“	3.22 (0.20)	3.36 (0.23)

A.1.3 Ergebnistabellen der Varianzanalysen

Tabelle A.1.7 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	**η_p^2**
VARIANTE (V)	0.015	1	2.764	0.121
SICHT (S)	0.741	1	98.753**	0.832
V X S	0.016	1	4.661*	0.189
Fehler (V)	0.108	20		
Fehler (S)	0.150	20		
Fehler (VxS)	0.069	20		

Anmerkung: * p≤.05, **p≤.01

Tabelle A.1.8 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	η_p^2
VARIANTE (V)	0.319	1	1.848	0.085
SICHT (S)	18.503	1	139.988**	0.875
V X S	1.346	1	11.033**	0.356
Fehler (V)	3.449	20		
Fehler (S)	2.644	20		
Fehler (VxS)	2.441	20		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.1.9 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	η_p^2
VARIANTE (V)	0.001	1	0.002	0.000
SICHT (S)	6.851	1	12.189*	0.379
V X S	0.410	1	0.933	0.045
Fehler (V)	10.506	20		
Fehler (S)	11.242	20		
Fehler (VxS)	8.792	20		

Anmerkung: * p≤.05

Tabelle A.1.10 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	**η_p^2**
VARIANTE (V)	48.109	1	8.611**	0.301
SICHT (S)	267.036	1	21.317**	0.516
V X S	121.032	1	17.406**	0.465
Fehler (V)	111.741	20		
Fehler (S)	250.537	20		
Fehler (VxS)	139.070	20		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.1.11 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	**η_p^2**
VARIANTE (V)	91.180	1	24.031**	0.546
SICHT (S)	63.490	1	7.833**	0.281
V X S	28.301	1	10.152**	0.337
Fehler (V)	75.886	20		
Fehler (S)	162.103	20		
Fehler (VxS)	55.754	20		

Anmerkung: **p≤.01

A.2 Experiment 2

A.2.1 Fragebögen

A.2.1.1 Fragebogen B1

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen wahrheitsgemäß und vollständig. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Alter: _____ Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐

Beruf: _____

Führerscheinbesitz seit ___ Jahren

Ich benötige eine Brille...

- zum Autofahren: Ja ☐ Nein ☐
- zum Lesen: Ja ☐ Nein ☐

Ich bin hinsichtlich folgender Farben farbenblind bzw. besitze eine Farbschwäche:

Rot/Grün ☐ Blau/Gelb ☐

Darüber hinaus unterscheidet sich mein Sehvermögen hinsichtlich folgender Parameter von dem eines gesunden Auges:

_____

_____

Ich fahre derzeit folgende PKWs...

	Marke	Typ
1		
2		
3		

Wie viele km fahren Sie durchschnittlich in einem Jahr?

Weniger als 5.000 km	5.000-10.000 km	10.000-20.000 km	Mehr als 20.000 km
☐	☐	☐	☐

Folgende Geräte nutze ich privat oder beruflich:

☐ PC

☐ Touchpad am Notebook

☐ Mobiltelefon

☐ Navigationssystem im PKW

Spielen Sie privat Computerspiele? Ja ☐ Nein ☐

Wie häufig spielen Sie Computerspiele mit einem Spiellenkrad?

Nie ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ immer

Haben Sie Erfahrung mit Fahrsimulatoren? Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, wie oft sind Sie bereits mit einem Fahrsimulator gefahren?

0 ☐ 1-2 ☐ 3-5 ☐ 5-10 ☐ >10 ☐

Haben Sie Erfahrungen mit anderen Arten von Simulatoren?

Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, mit welchen?

_____

_____

A.2.1.2 Fragebogen B2a

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst spontan und ohne großes Nachdenken. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Wie war es für Sie, im Fahrsimulator zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, in der vorgegebenen Spur zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, die gewünschte Geschwindigkeit zu halten?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

A.2.1.3 Fragebogen B2b

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst spontan und ohne großes Nachdenken. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Wie war es für Sie, im Fahrsimulator zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, in der vorgegebenen Spur zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, die gewünschte Geschwindigkeit zu halten?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie während der Fahrt rückwärts zu zählen?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie während der Fahrt die Kassette zu wechseln?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

A.2.1.4 Fragebogen - Abschluss

Ist Ihnen während des Versuchs beim Fahren schlecht geworden?

Ja ☐ Nein ☐

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Fahrsimulator?

_____

_____

_____

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Versuch insgesamt?

_____

_____

_____

Möchten Sie über die Ergebnisse der Untersuchung informiert werden?

Ja ☐ Nein ☐

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

A.2.2 Zusätzliche Maße qualitative Effektstärkenbetrachtung: Mittelwerte und Standardfehler

A.2.2.1 „Task visuell-manuell"

Tabelle A.2.1 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma"	„Projektion"
FAHRT	„Basis"	**FREMDVERKEHR**	„Mit"	0.01 (0.00)	0.01 (0.01)
			„Ohne"	0.01 (0.00)	0.01 (0.01)
	„Task"		„Mit"	0.06 (0.02)	0.15 (0.03)
			„Ohne"	0.08 (0.03)	0.11 (0.03)

Tabelle A.2.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma"	„Projektion"
FAHRT	„Basis"	**FREMDVERKEHR**	„Mit"	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
			„Ohne"	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
	„Task"		„Mit"	0.01 (0.00)	0.03 (0.01)
			„Ohne"	0.01 (0.00)	0.03 (0.01)

Tabelle A.2.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma"	„Projektion"
FAHRT	„Basis"	**FREMDVERKEHR**	„Mit"	0.03 (0.02)	0.01 (0.01)
			„Ohne"	0.02 (0.01)	0.04 (0.03)
	„Task"		„Mit"	0.17 (0.05)	0.33 (0.08)
			„Ohne"	0.16 (0.04)	0.31 (0.07)

Tabelle A.2.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	1.73 (0.03)	1.77 (0.03)
			„Ohne“	1.85 (0.03)	1.87 (0.03)
	„Task“		„Mit“	1.64 (0.03)	1.71 (0.04)
			„Ohne“	1.76 (0.03)	1.79 (0.04)

Tabelle A.2.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	0.02 (0.01)	0.03 (0.01)
			„Ohne“	0.01 (0.00)	0.02 (0.01)
	„Task“		„Mit“	0.08 (0.02)	0.14 (0.02)
			„Ohne“	0.07 (0.02)	0.10 (0.02)

Tabelle A.2.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	5.78 (0.94)	6.24 (0.56)
			„Ohne“	4.78 (0.57)	4.97 (0.65)
	„Task“		„Mit“	8.36 (1.11)	10.20 (1.01)
			„Ohne“	7.82 (0.80)	9.26 (1.05)

A.2.2.2 „Task“ kognitiv

Tabelle A.2.7 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	0.02 (0.01)	0.02 (0.01)
			„Ohne“	0.01 (0.00)	0.04 (0.01)
	„Task“		„Mit“	0.00 (0.00)	0.01 (0.00)
			„Ohne“	0.01 (0.00)	0.03 (0.01)

Tabelle A.2.8 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	0.01 (0.00)	0.00 (0.00)
			„Ohne“	0.00 (0.00)	0.01 (0.00)
	„Task“		„Mit“	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
			„Ohne“	0.00 (0.00)	0.01 (0.00)

Tabelle A.2.9 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	0.09 (0.03)	0.05 (0.02)
			„Ohne“	0.07 (0.02)	0.11 (0.05)
	„Task“		„Mit“	0.03 (0.01)	0.03 (0.02)
			„Ohne“	0.03 (0.01)	0.05 (0.02)

Tabelle A.2.10 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	1.75 (0.03)	1.80 (0.02)
			„Ohne“	1.81 (0.03)	1.87 (0.03)
	„Task“		„Mit“	1.76 (0.03)	1.79 (0.03)
			„Ohne“	1.86 (0.03)	1.84 (0.04)

Tabelle A.2.11 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	0.02 (0.01)	0.02 (0.00)
			„Ohne“	0.01 (0.00)	0.02 (0.00)
	„Task“		„Mit“	0.02 (0.00)	0.03 (0.00)
			„Ohne“	0.02 (0.00)	0.03 (0.01)

Tabelle A.2.12 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler

				VARIANTE	
				„Plasma“	„Projektion“
FAHRT	„Basis“	**FREMDVERKEHR**	„Mit“	3.73 (0.49)	4.49 (0.48)
			„Ohne“	3.15 (0.31)	3.79 (0.39)
	„Task“		„Mit“	5.62 (0.67)	6.33 (0.80)
			„Ohne“	5.26 (0.74)	5.22 (0.57)

A.2.3 Ergebnistabelle der Varianzanalyse

A.2.3.1 „Task“ visuell-manuell

Tabelle A.2.13 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	0.041	1	3.789	0.112
Fehler V	0.322	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	0.000	1	0.079	0.003
V x R	0.001	1	0.242	0.008
Fehler R	0.095	30		
FAHRT (F)	0.258	1	55.421**	0.649
V x F	0.005	1	0.972	0.031
Fehler F	0.140	30		
R x F	0.000	1	0.099	0.003
V x R x F	0.002	1	0.580	0.019
Fehler R x F	0.122	30		

Anmerkung: ** p≤.01

Tabelle A.2.14 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	7.038	1	3.808	0.113
Fehler V	55.442	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	0.463	1	2.041	0.064
V x R	0.024	1	0.104	0.003
Fehler R	6.808	30		
FAHRT (F)	58. 217	1	185.670**	0.861
V x F	0.187	1	0.596	0.019
Fehler F	9.407	30		
R x F	0.011	1	0.047	0.002
V x R x F	0.153	1	0.643	0.021
Fehler R x F	7.156	30		

Anmerkung: ** p≤.01

Tabelle A.2.15 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	0.840	1	3.356	0.101
Fehler V	7.509	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	0.148	1	1.788	0.056
V x R	0.032	1	0.389	0.013
Fehler R	2.480	30		
FAHRT (F)	6.253	1	41.005**	0.577
V x F	0.496	1	3.255	0.098
Fehler F	4.574	30		
R x F	0.115	1	2.130	0.066
V x R x F	0.032	1	0.598	0.020
Fehler R x F	1.614	30		

Anmerkung: ** p≤.01

Tabelle A.2.16 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	881.104	1	7.308**	0.196
Fehler V	3617.106	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	117.787	1	6.696*	0.182
V x R	25.610	1	1.456	0.046
Fehler R	527.724	30		
FAHRT (F)	4450.829	1	86.564**	0.743
V x F	8.398	1	0.163	0.005
Fehler F	1542.498	30		
R x F	0.902	1	0.042	0.001
V x R x F	4.801	1	0.222	0.007
Fehler R x F	649.839	30		

Anmerkung: ** p≤.01, * p≤.05

A.2.3.2 „Task“ kognitiv

Tabelle A.2.17 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	0.006	1	0.743	0.024
Fehler V	0.237	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	0.007	1	3.098	0.094
V x R	0.000	1	0.013	0.000
Fehler R	0.065	30		
FAHRT (F)	0.034	1	15.585**	0.342
V x F	0.000	1	0.164	0.005
Fehler F	0.066	30		
R x F	0.001	1	0.575	0.019
V x R x F	0.000	1	0.052	0.002
Fehler R x F	0.041	30		

Anmerkung: ** p≤.01

Tabelle A.2.18 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	6.009	1	3.490	0.104
Fehler V	51.648	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	0.084	1	0.668	0.022
V x R	0.234	1	1.861	0.058
Fehler R	3.768	30		
FAHRT (F)	4.964	1	29.481**	0.496
V x F	0.076	1	0.454	0.015
Fehler F	5.051	30		
R x F	0.001	1	0.012	0.000
V x R x F	0.112	1	0.902	0.029
Fehler R x F	3.711	30		

Anmerkung: ** p≤.01

Tabelle A.2.19 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	0.013	1	0.297	0.010
Fehler V	1.292	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	0.033	1	3.144	0.095
V x R	0.001	1	0.133	0.004
Fehler R	0.310	30		
FAHRT (F)	0.002	1	0.239	0.008
V x F	0.013	1	2.083	0.065
Fehler F	0.190	30		
R x F	0.008	1	1.140	0.037
V x R x F	0.000	1	0.016	0.001
Fehler R x F	0.214	30		

Tabelle A.2.20 Maß $SRR_{0.4}$: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
	Between subjects			
VARIANTE (V)	17.405	1	0.072	0.002
Fehler V	7274.249	30		
	Within subjects			
FREMDVERKEHR (R)	233.820	1	16.383**	0.353
V x R	20.576	1	1.442	0.046
Fehler R	428.156	30		
FAHRT (F)	1696.386	1	66.443**	0.689
V x F	34.549	1	1.353	0.043
Fehler F	765.942	30		
R x F	3.020	1	0.166	0.005
V x R x F	0.641	1	0.035	0.001
Fehler R x F	546.525	30		

Anmerkung: ** $p \leq .01$

A.3 Experiment 3

A.3.1 Fragebögen

A.3.1.1 Fragebogen C1

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen wahrheitsgemäß und vollständig. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Alter: _____ Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐

Beruf: _____

Führerscheinbesitz seit ___ Jahren

Ich benötige eine Brille...

- zum Autofahren: Ja ☐ Nein ☐
- zum Lesen: Ja ☐ Nein ☐

Ich fahre derzeit folgende PKWs...

	Marke	Typ
1		
2		
3		

Wie viele km fahren Sie durchschnittlich in einem Jahr?

Weniger als 5.000 km	5.000-10.000 km	10.000-20.000 km	Mehr als 20.000 km
☐	☐	☐	☐

Folgende Geräte nutze ich privat oder beruflich:

☐ PC

☐ Touchpad am Notebook

☐ Mobiltelefon

☐ Navigationssystem im PKW

Spielen Sie privat Computerspiele? Ja ☐ Nein ☐

Wie häufig spielen Sie Computerspiele mit einem Spiellenkrad?

Nie ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ immer

Haben Sie Erfahrung mit Fahrsimulatoren? Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, wie oft sind Sie bereits mit einem Fahrsimulator gefahren?

0 ☐ 1-2 ☐ 3-5 ☐ 5-10 ☐ >10 ☐

Haben Sie Erfahrungen mit anderen Arten von Simulatoren?

Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, mit welchen?

_____

_____

A.3.1.2 Fragebogen C2

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst spontan und ohne großes Nachdenken. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Wie war es für Sie, im Fahrsimulator zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, in der vorgegebenen Spur zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, die gewünschte Geschwindigkeit zu halten?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie realitätsnah finden Sie die gesamte Simulation?

Überhaupt nicht realitätsnah ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr gelungen

Wenn nicht realitätsnah, weshalb?

_____

_____

Ist Ihnen während des Versuchs beim Fahren schlecht geworden?

Ja ☐ Nein ☐

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Fahrsimulator?

_____

_____

_____

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Versuch insgesamt?

_____

_____

_____

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

A.3.2 Mündliche Zwischenfragen

Vpn:

Bedingung:
Aufgabe:
Durchgang:

Die Fragen nach jeder ihrer Nebenaufgaben....

1. Wie **schwierig** fanden sie in dieser Situation die **Bearbeitung der Nebenaufgabe** von 1:sehr leicht bis 5: sehr schwierig?

2. Wie **anstrengend** war diese Situation während der Bearbeitung der Nebenaufgabe von 1: überhaupt nicht anstrengend bis 5: sehr anstrengend?

3. Wie **gut** konnten Sie die Situation während der Bearbeitung der Nebenaufgabe **bewältigen** von 1: sehr gut bis 5: sehr schlecht?

4. Wie **ablenkend** fanden sie in dieser Situation die Bearbeitung der Nebenaufgabe von 1: überhaupt nicht ablenkend bis 5: sehr ablenkend?

5. Wie **sicher** fühlten sie sich in dieser Situation während der Bearbeitung der Nebenaufgabe von 1: sehr sicher bis 5: überhaupt nicht sicher?

A.3.3 Zusätzliche Maße qualitative Effektstärkenbetrachtung: Mittelwerte und Standardfehler

Tabelle A.3.1 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		MODIFIKATION			
		„Plasma“	„Projektion“	„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“
FAHRT	„Basis“	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.01)
	„Task“ (visuell-manuell)	0.06 (0.01)	0.04 (0.01)	0.06 (0.02)	0.04 (0.01)
	„Task“ (kognitiv)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)

Tabelle A.3.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		MODIFIKATION			
		„Plasma“	„Projektion“	„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“
FAHRT	„Basis“	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
	„Task“ (visuell-manuell)	0.02 (0.01)	0.01 (0.00)	0.03 (0.01)	0.02 (0.00)
	„Task“ (kognitiv)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)

Tabelle A.3.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		MODIFIKATION			
		„Plasma“	„Projektion“	„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“
FAHRT	„Basis“	0.04 (0.04)	0.07 (0.05)	0.00 (0.00)	0.07 (0.07)
	„Task“ (visuell-manuell)	1.36 (0.44)	0.75 (0.19)	1.29 (0.38)	0.72 (0.22)
	„Task“ (kognitiv)	0.10 (0.07)	0.03 (0.03)	0.10 (0.07)	0.03 (0.03)

Tabelle A.3.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		MODIFIKATION			
		„Plasma“	„Projektion“	„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“
FAHRT	„Basis“	1.66 (0.04)	1.76 (0.04)	1.66 (0.03)	1.72 (0.04)
	„Task“ (visuell-manuell)	1.57 (0.04)	1.71 (0.04)	1.57 (0.05)	1.70 (0.04)
	„Task“ (kognitiv)	1.70 (0.04)	1.76 (0.04)	1.67 (0.04)	1.75 (0.04)

Tabelle A.3.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		MODIFIKATION			
		„Plasma“	„Projektion“	„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“
FAHRT	„Basis“	0.07 (0.00)	0.07 (0.00)	0.07 (0.00)	0.06 (0.00)
	„Task“ (visuell-manuell)	0.13 (0.01)	0.12 (0.01)	0.13 (0.01)	0.12 (0.01)
	„Task“ (kognitiv)	0.08 (0.01)	0.07 (0.00)	0.08 (0.01)	0.07 (0.01)

Tabelle A.3.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		MODIFIKATION			
		„Plasma“	„Projektion“	„Projektion klein Balken“	„Projektion mit Balken“
FAHRT	„Basis“	4.29 (0.33)	3.83 (0.36)	3.64 (0.29)	3.83 (0.33)
	„Task“ (visuell-manuell)	8.78 (0.62)	8.99 (0.78)	9.01 (0.64)	8.32 (0.60)
	„Task“ (kognitiv)	5.06 (0.61)	4.47 (0.44)	4.77 (0.44)	5.23 (0.46)

A.3.4 Ergebnistabelle der Varianzanalyse

A.3.4.1 Einflussfaktoren FAHRT und VARIANTE

Tabelle A.3.7 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
VARIANTE (V)	0.004	1	0.858	0.030
FAHRT (F)	0.307	1.742	54.647**	0.661
V x T	0.007	1.670	1.344	0.046
Fehler (V)	0.142	28		
Fehler (F)	0.157	48.779		
Fehler (V x T)	0.140	46.760		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.8 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
VARIANTE (V)	0.211	1	1.708	0.057
FAHRT (F)	29.831	1.898	41.770**	0.599
V x T	0.285	1.787	0.711	0.025
Fehler (V)	3.461	28		
Fehler (F)	19.997	53.137		
Fehler (V x T)	11.241	50.029		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.9 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
VARIANTE (V)	0.003	1	0.074	0.003
FAHRT (F)	4.558	1.445	50.231**	0.642
V x T	0.032	1.513	0.524	0.018
Fehler (V)	1.039	28		
Fehler (F)	2.541	40.452		
Fehler (V x T)	1.719	42.363		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.10 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	η_p^2
VARIANTE (V)	1.493	1	0.092	0.003
FAHRT (F)	917.072	1	31.560**	0.530
V x T	0.085	1	0.005	0.000
Fehler (V)	452.725	28		
Fehler (F)	813.619	28		
Fehler (V x T)	503.658	28		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.11 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**Df**	**F**	η_p^2
VARIANTE (V)	818.672	1	13.017**	0.317
FAHRT (F)	2222.726	1	13.326**	0.322
V x T	16.981	1	0.266	0.009
Fehler (V)	1761.057	28		
Fehler (F)	4670.410	28		
Fehler (V x T)	1785.818	28		

Anmerkung: **p≤.01

A.3.4.2 Einflussfaktoren FAHRT und BALKEN

Tabelle A.3.12 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
BALKEN (B)	0.011	1	4.074*	0.127
FAHRT (F)	0.292	1.391	41.077**	0.595
BxT	0.000	1.646	0.030	0.001
Fehler (B)	0.076	28		
Fehler (F)	0.199	38.935		
Fehler (BxT)	0.277	46.087		

Anmerkung: **p≤.01; *p≤.05

Tabelle A.3.13 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
BALKEN (B)	0.426	1	1.680	0.057
FAHRT (F)	33.209	1.821	56.818**	0.670
BxT	0.654	1.830	1.830	0.061
Fehler (B)	7.105	28		
Fehler (F)	16.365	50.990		
Fehler (BxT)	10.005	51.233		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.14 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
BALKEN (B)	0.072	1	1.780	0.060
FAHRT (F)	7.069	1.315	48.592**	0.634
BxT	0.142	1.272	2.136	0.071
Fehler (B)	1.133	28		
Fehler (F)	4.074	36.829		
Fehler (BxT)	1.865	35.605		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.15 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
BALKEN (B)	20.953	1	1.388	0.047
FAHRT (F)	928.806	1	21.348**	0.433
BxT	0.010	1	0.001	0.000
Fehler (B)	422.689	28		
Fehler (F)	1218.221	28		
Fehler (BxT)	213.744	28		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.16 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
BALKEN (B)	13.379	1	0.135	0.005
FAHRT (F)	1644.352	1	18.759**	0.401
BxT	6.122	1	0.102	0.004
Fehler (B)	2782.533	28		
Fehler (F)	2454.400	28		
Fehler (BxT)	1684.093	28		

Anmerkung: **p≤.01

A.3.4.3 Einflussfaktoren FAHRT und SICHTFELD

Tabelle A.3.17 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
SICHTFELD (S)	0.006	1	1.371	0.047
FAHRT (F)	0.375	1.397	21.916**	0.439
SxT	0.006	1.251	0.518	0.018
Fehler (S)	0.129	28		
Fehler (F)	0.479	39.114		
Fehler (SxT)	0.340	35.029		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.18 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
SICHTFELD (S)	0.010	1	0.044	0.002
FAHRT (F)	34.133	1.781	63.148**	0.693
SxT	0.756	1.899	1.961	0.065
Fehler (S)	6.514	28		
Fehler (F)	15.134	49.857		
Fehler (SxT)	10.792	53.178		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.19 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
SICHTFELD (S)	0.009	1	0.204	0.007
FAHRT (F)	8.074	1.380	106.434**	0.792
SxT	0.040	1.126	0.495	0.017
Fehler (S)	1.212	28		
Fehler (F)	2.124	38.646		
Fehler (SxT)	2.266	31.520		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.20 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	η_p^2
SICHTFELD (S)	0.424	1	0.034	0.001
FAHRT (F)	861.318	1	35.977**	0.562
SxT	1.060	1	0.116	0.004
Fehler (S)	347.178	28		
Fehler (F)	670.346	28		
Fehler (SxT)	254.926	28		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.21 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	η_p^2
SICHTFELD (S)	162.710	1	1.454	0.049
FAHRT (F)	1674.247	1	24.459**	0.466
SxT	8.073	1	0.091	0.003
Fehler (S)	3133.738	28		
Fehler (F)	1916.619	28		
Fehler (SxT)	2471.426	28		

Anmerkung: **p≤.01

A.3.4.4 Einflussfaktoren FAHRT und QUALITÄT

Tabelle A.3.22 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
QUALITÄT (Q)	0.014	1	2.582	.084
FAHRT (F)	0.400	1.284	29.478**	.513
QxT	0.003	1.739	0.291	.010
Fehler (Q)	0.154	28		
Fehler (F)	0.380	35.944		
Fehler (QxT)	0.261	48.687		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.23 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
QUALITÄT (Q)	1.024	1	3.741	0.118
FAHRT (F)	30.712	1.773	39.986**	0.588
QxT	0.429	1.858	1.295	0.044
Fehler (Q)	7.663	28		
Fehler (F)	21.507	49.651		
Fehler (QxT)	9.287	52.013		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.24 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
QUALITÄT (Q)	0.051	1	1.635	0.055
FAHRT (F)	5.382	1.347	74.330**	0.726
QxT	0.110	1.852	4.517	0.139
Fehler (Q)	0.880	28		
Fehler (F)	2.027	37.723		
Fehler (QxT)	0.684	51.868		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.25 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
QUALITÄT (Q)	16.051	1	1.256	0.043
FAHRT (F)	850.020	1	48.234**	0.633
QxT	0.700	1	0.062	0.002
Fehler (Q)	357.755	28		
Fehler (F)	493.437	28		
Fehler (QxT)	317.147	28		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.3.26 Maß SRR0.4: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
QUALITÄT (Q)	380.810	1	4.625	0.142
FAHRT (F)	2257.462	1	16.030**	0.364
QxT	14.092	1	0.143	0.005
Fehler (Q)	2305.538	28		
Fehler (F)	3943.151	28		
Fehler (QxT)	2762.628	28		

Anmerkung: **p≤.01

A.4 Experiment 4

A.4.1 Fragebögen

A.4.1.1 Fragebogen D1

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: 1

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen wahrheitsgemäß und vollständig. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Alter: _____ Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐

Beruf: _____

Führerscheinbesitz seit ___ Jahren

Ich benötige eine Brille...

- zum Autofahren: Ja ☐ Nein ☐
- zum Lesen: Ja ☐ Nein ☐

Ich fahre derzeit folgende PKWs...

	Marke	Typ
1		
2		
3		

Wie viele km fahren Sie durchschnittlich in einem Jahr?

Weniger als 5.000 km	5.000-10.000 km	10.000-20.000 km	Mehr als 20.000 km
☐	☐	☐	☐

Folgende Geräte nutze ich privat oder beruflich:

☐ PC

☐ Touchpad am Notebook

☐ Mobiltelefon

☐ Navigationssystem im PKW

Spielen Sie privat Computerspiele? Ja ☐ Nein ☐

Wie häufig spielen Sie Computerspiele mit einem Spiellenkrad?

Nie ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ immer

Haben Sie Erfahrung mit Fahrsimulatoren? Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, wie oft sind Sie bereits mit einem Fahrsimulator gefahren?

0 ☐ 1-2 ☐ 3-5 ☐ 5-10 ☐ >10 ☐

Haben Sie Erfahrungen mit anderen Arten von Simulatoren?

Ja ☐ Nein ☐

Wenn ja, mit welchen?

_____

_____

Wie viel Erfahrung besitzen Sie in Computervisualisierung und interaktiven Spielen?

Keine ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr viel Erfahrung

A.4.1.2 Fragebogen D2

VP-Code:_____ Datum:_____ Fragebogen-Nr.: _____

Fragebogen

Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst spontan und ohne großes Nachdenken. Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Wie war es für Sie, im Fahrsimulator zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, in der vorgegebenen Spur zu fahren?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie war es für Sie, die gewünschte Geschwindigkeit zu halten?

Sehr schwierig ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr einfach

Wenn schwierig, weshalb?

_____

_____

Wie realitätsnah finden Sie die gesamte Simulation?

Überhaupt nicht realitätsnah ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Sehr gelungen

Wenn nicht realitätsnah, weshalb?

_____

_____

Ist Ihnen während des Versuchs beim Fahren schlecht geworden?

Ja ☐ Nein ☐

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Fahrsimulator?

_____

_____

_____

Haben Sie weitere Anmerkungen zum Versuch insgesamt?

_____

_____

_____

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

A.4.2 Mündliche Zwischenfragen

Mündliche Zwischenfragen Vpn:

Bedingung:
Aufgabe:
Durchgang:

Die Fragen nach jeder ihrer Nebenaufgaben....

1. Wie **schwierig** fanden sie in dieser Situation die **Bearbeitung der Nebenaufgabe** von 1:sehr leicht bis 5: sehr schwierig?

2. Wie **anstrengend** war diese Situation während der Bearbeitung der Nebenaufgabe von 1: überhaupt nicht anstrengend bis 5: sehr anstrengend?

3. Wie **gut** konnten Sie die Situation während der Bearbeitung der Nebenaufgabe **bewältigen** von 1: sehr gut bis 5: sehr schlecht?

4. Wie **ablenkend** fanden sie in dieser Situation die Bearbeitung der Nebenaufgabe von 1: überhaupt nicht ablenkend bis 5: sehr ablenkend?

5. Wie **sicher** fühlten sie sich in dieser Situation während der Bearbeitung der Nebenaufgabe von 1: sehr sicher bis 5: überhaupt nicht sicher?

A.4.3 Zusätzliche Maße qualitative Effektstärkenbetrachtung: Mittelwerte und Standardfehler

Tabelle A.4.1 Maß TLC_{thresh}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE					
		„Plasma“			„Projektion“		
		SICHT			**SICHT**		
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
FAHRT	„Basis“	0.00 (0.01)	0.00 (0.01)	0.01 (0.02)	0.00 (0.00)	0.01 (0.01)	0.01 (0.02)
	„Task visuell-manuell”	0.08 (0.06)	0.05 (0.07)	0.09 (0.08)	0.06 (0.07)	0.05 (0.08)	0.10 (0.08)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	0.01 (0.02)	0.01 (0.03)	0.03 (0.07)	0.00 (0.01)	0.01 (0.02)	0.02 (0.04)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	0.02 (0.05)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.01 (0.03)

Tabelle A.4.2 Maß TLC_{pct}: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE					
		„Plasma“			„Projektion“		
		SICHT			**SICHT**		
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
FAHRT	„Basis“	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)
	„Task visuell-manuell”	0.03 (0.03)	0.01 (0.02)	0.03 (0.03)	0.02 (0.02)	0.02 (0.02)	0.03 (0.03)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	0.00 (0.01)	0.01 (0.01)	0.01 (0.03)	0.00 (0.00)	0.01 (0.01)	0.01 (0.02)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.01 (0.02)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.01)

Tabelle A.4.3 Maß LANEX: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE					
		„Plasma“			„Projektion“		
		SICHT			**SICHT**		
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
FAHRT	„Basis“	0.04 (0.16)	0.06 (0.23)	0.18 (0.48)	0.02 (0.11)	0.03 (0.12)	0.13 (0.28)
	„Task visuell-manuell”	1.21 (1.53)	0.42 (0.84)	1.01 (1.43)	0.52 (0.95)	0.52 (0.81)	1.07 (1.18)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	0.12 (0.39)	0.11 (0.24)	0.49 (1.14)	0.00 (0.00)	0.08 (0.23)	0.29 (0.59)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	0.01 (0.06)	0.06 (0.25)	0.34 (0.75)	0.00 (0.00)	0.03 (0.12)	0.08 (0.25)

Tabelle A.4.4 Maß MLP: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE					
		„Plasma“			„Projektion“		
		SICHT			**SICHT**		
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
FAHRT	„Basis“	1.59 (0.17)	1.64 (0.20)	1.68 (0.23)	1.75 (0.16)	1.72 (0.18)	1.72 (0.20)
	„Task visuell-manuell”	1.47 (0.23)	1.67 (0.29)	1.61 (0.26)	1.66 (0.24)	1.65 (0.25)	1.60 (0.32)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	1.56 (0.22)	1.52 (0.19)	1.56 (0.27)	1.70 (0.22)	1.61 (0.20)	1.55 (0.22)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	1.58 (0.22)	1.60 (0.23)	1.65 (0.27)	1.74 (0.19)	1.71 (0.19)	1.66 (0.23)

Tabelle A.4.5 Maß HFC: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE					
		„Plasma“			„Projektion“		
		SICHT			**SICHT**		
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
FAHRT	„Basis“	0.05 (0.03)	0.02 (0.02)	0.03 (0.02)	0.05 (0.03)	0.02 (0.02)	0.03 (0.04)
	„Task visuell-manuell”	0.19 (0.09)	0.15 (0.09)	0.16 (0.07)	0.23 (0.11)	0.16 (0.07)	0.17 (0.09)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	0.05 (0.03)	0.04 (0.03)	0.03 (0.02)	0.05 (0.03)	0.03 (0.02)	0.04 (0.03)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	0.07 (0.04)	0.04 (0.03)	0.04 (0.02)	0.08 (0.04)	0.05 (0.03)	0.05 (0.03)

Tabelle A.4.6 Maß ZERO: Mittelwerte und Standardfehler - getrennt nach Bedingung

		VARIANTE					
		„Plasma“			„Projektion“		
		SICHT			**SICHT**		
		„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“	„Standard“	„Trapez“	„5 Grad“
FAHRT	„Basis“	5.30 (2.63)	3.84 (2.14)	3.80 (2.10)	6.04 (2.81)	3.43 (2.10)	3.88 (2.74)
	„Task visuell-manuell”	12.88 (4.62)	10.17 (4.12)	9.80 (3.46)	13.41 (5.16)	11.20 (3.62)	10.12 (4.22)
	„Task kognitiv“ (Bahn)	5.96 (4.38)	4.51 (3.36)	4.06 (2.81)	6.26 (3.26)	4.78 (2.88)	4.75 (2.68)
	„Task kognitiv“ (Rechnen)	10.22 (5.49)	7.82 (4.92)	6.60 (3.80)	11.77 (5.93)	8.76 (4.82)	8.93 (4.48)

A.4.4 Ergebnistabelle der Varianzanalyse

Tabelle A.4.7 Maß SDLP: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	ηp2
VARIANTE (V)	0.016	1	3.074	0.102
FAHRT (F)	1.342	1.918	64.574**	0.705
SICHT (S)	0.756	1.714	46.957**	0.635
V x F	0.001	2.069	0.109	0.004
V x S	0.000	1.689	0.002	0.000
F x S	0.029	3.399	1.336	0.047
V x F x S	0.017	3.575	0.653	0.024
Fehler (V)	0.138	27		
Fehler (F)	0.561	51.780		
Fehler (S)	0.435	46.288		
Fehler (V x F)	0.281	55.873		
Fehler (V x S)	0.301	45.609		
Fehler (F x S)	0.585	91.777		
Fehler (V x F x S)	0.707	96.529		

Anmerkung: **p≤.01

Tabelle A.4.8 Maß TLC_{mean}: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
VARIANTE (V)	1.974	1	4.066*	0.131
FAHRT (F)	220.627	2.417	213.502**	0.888
SICHT (S)	36.599	1.814	66.263**	0.710
V x F	0.161	2.540	0.404	0.015
V x S	0.162	1.875	0.333	0.012
F x S	4.422	4.396	4.474**	0.142
V x F x S	0.974	4.708	0.966	0.035
Fehler (V)	13.107	27		
Fehler (F)	27.901	65.270		
Fehler (S)	14.913	48.983		
Fehler (V x F)	10.785	68.574		
Fehler (V x S)	13.085	50.620		
Fehler (F x S)	26.690	118.695		
Fehler (V x F x S)	27.225	127.103		

Anmerkung: **p≤.01, *p≤.05

Tabelle A.4.9 Maß SDST: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
VARIANTE (V)	0.166	1	3.982	0.129
FAHRT (F)	18.442	1.577	106.375**	0.798
SICHT (S)	1.511	1.425	20.029**	0.426
V x F	0.072	1.360	0.905	0.032
V x S	0.015	1.881	0.211	0.008
F x S	0.619	2.406	3.822*	0.124
V x F x S	0.159	2.114	0.732	0.026
Fehler (V)	1.123	27		
Fehler (F)	4.681	42.584		
Fehler (S)	2.036	38.475		
Fehler (V x F)	2.134	36.732		
Fehler (V x S)	1.928	50.777		
Fehler (F x S)	4.373	64.967		
Fehler (V x F x S)	5.845	57.086		

Anmerkung: **p≤.01; *p≤.05;

Tabelle A.4.10 Maß $SRR_{0.4}$: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	QS	df	F	η_p^2
VARIANTE (V)	291.840	1	2.159	0.074
FAHRT (F)	8596.792	1.536	74.838**	0.735
SICHT (S)	1147.080	1.980	12.080**	0.309
V x F	11.101	1.997	0.187	0.007
V x S	36.279	1.907	0.596	0.022
F x S	229.463	3.859	2.832*	0.095
V x F x S	10.113	3.282	0.123	0.005
Fehler (V)	3649.117	27		
Fehler (F)	3101.542	41.459		
Fehler (S)	2563.835	53.462		
Fehler (V x F)	1598.648	53.920		
Fehler (V x S)	1642.432	51.477		
Fehler (F x S)	2187.729	104.192		
Fehler (V x F x S)	2214.035	88.611		

Anmerkung: **p≤.01, *p≤.05

Tabelle A.4.11 Maß SRR2: Ergebnisse der Varianzanalyse

Source	**QS**	**df**	**F**	**η_p^2**
VARIANTE (V)	42.273	1	1.747	0.061
FAHRT (F)	9328.954	1	167.689**	0.861
SICHT (S)	1292.847	1.606	43.733**	0.618
V x F	32.203	1	1.878	0.065
V x S	40.744	1.989	2.232	0.076
F x S	364.008	1.746	14.444**	0.349
V x F x S	36.124	1.992	1.766	0.061
Fehler (V)	653.488	27		
Fehler (F)	1502.081	27		
Fehler (S)	798.181	43.369		
Fehler (V x F)	463.057	27		
Fehler (V x S)	492.773	53.713		
Fehler (F x S)	680.443	47.134		
Fehler (V x F x S)	552.297	53.789		

Anmerkung: **p≤.01

Literaturverzeichnis

AAM (2002). Statement of principles: criteria and verification procedures on driver interactions with advanced in-vehicle information and communication systems. Version 2.0. Association of American Manufacturers. http://www.umich.edu/~driving/guidelines/AAM_DriverFocus_Guidelines.pdf (20.07.2009)

Atchley, P., & Dressel, J. (2004). Conversation limits the functional field of view. *Human Factors, 46*, 664-673.

Barjonet, P. (2001) Transport psychology in Europe: a historical approach. In P.-E. Barjonet(Ed.), *Traffic Psychology Today* (pp. 13-29). Boston: Kluwer Academic Publishers.

Beall, A. C., & Loomis, J. M. (1996). Visual control of steering without course information. *Perception, 25*, 481-494.

Bengler, K., Bernasch, J. H., & Löwenau, J. P. (1996). Comparison of eye movement behaviour during negotiation of curves on test track and in BMW Driving Simulator. *Annual Meeting of the Europe Chapter of the Human Factors and Ergonomics Society, Groningen*.

Bengler, K., Huesmann, A., & Praxenthaler, M. (2003). Investigation of visual demand in a static driving simulator within the ADAM project. *Proceedings of the Annual Spring Conference of the Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (GfA) in München.*

Bengler, K., Praxenthaler, M., Theofanou, D., & Eckstein, L. (2004). Investigation of visual demand in different driving simulators within the ADAM project. *Driving Simulator Conference 2004 Europe, Paris,* 91-104.

Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (1999). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer, 4.Auflage.

Blana E. (1996). *Driving simulator validation studies: a literature review* (Working Paper 480). Leeds: Institute of Transportation Studies, University of Leeds. http://eprints.whiterose.ac.uk/211. (20.07.2009)

Blaauw, G. J. (1982). Driving experience and task demands in simulator and instrumented car: a validation study. *Human Factors, 24*, 473-486.

Blaauw, G. J. (1984) *Car driving as a supervisory control task*. PhD Thesis. TNO-Institute for Perception, Soesterberg, The Netherlands.

Bortz, J., (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer, 4.Auflage.

Bortz, J., & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer, 2. Auflage.

Cavallo, V., Brun-Dei, M., Laya, O., & Neboit M. (1988). Perceptions and anticipation in negotiating curves: the role of driving experience. In A.G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles II* (pp. 365-374). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Chatziastros, A. (2003). *Visuelle Kontrolle der Lokomotion*. Dissertation. Justus-Liebig-Universität, Gießen.

Chatziastros, A., Wallis G. M., & Bülthoff H. H. (1999). *The effect of field of view and surface texture on driver steering performance* (Technical Report No. 71). Tübingen: Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2nd edition.

Crundall, D., Underwood, G., & Chapman, P. (1999). Driving experience and the functional field of view. *Perception, 28*, 1075-1087.

Cutting, J. E., & Vishton, P. M. (1995). Percieving layout and knowing distances: the integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein & S. Rogers (Eds.), *Handbook of Perception and cognition: Perception of space and motion* (S. 69-117). New York: Academic Press.

EN ISO 17287 (2003). Straßenfahrzeuge – Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und assistenzsystemen – Verfahren zur Bewertung von Gebrauchstauglichkeit beim Führen eines Kraftfahrzeugs. *Europäisches Komitee für Normung*.

Engström, J., Johansson, E., & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F 8*, 97-120.

Evans, L. (2004). *Traffic Safety*. Bloomfield Hills, Michigan: Science Serving Society.

Frieling, E., & Sonntag, K. (1999). *Lehrbuch Arbeitspsychologie*. Bern: Huber.

Goldstein, B. (2002). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.

Gibson, J. J. (1950). *Perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin.

Gibson, J. J., & Crooks, L.E. (1938). A theoretical field analysis of automobile-driving. *The American Journal of Psychology, 51*, 453-471.

Godthelp, H., & Käppler, W. (1988). Effects of vehicle handling characteristics on driving strategy. *Human Factors, 30*, 219-229.

Godthelp, H., Milgram, P., & Blaauw, G. J. (1984). The development of a time-related measure to describe driving strategy. *Human Factors, 26*, 257-268.

Goossens, J., Dukelow, S. P., Menon, R. S., Vilis, T., & van den Berg, A. V. (2006). Representation of head-centric flow in the human motion complex. *The Journal of Neuroscience, 26*, 5616-5627.

Green P., Cullinane B., Zylstra B., & Smith D. (2004). *Typical values for driving performance with emphasis on the standard deviation of lane position: a summary of the literature* (Technical Report SAVE-IT Task 3A). Michigan, USA: University of Michigan, UMTRI.
www.umich.edu/~driving/publications/litrev_3a.pdf.
(20.07.2009)

Groeger, J.A. (2001). *Understanding driving: applying cognitive psychology to a complex everyday task*. Hove: Psychology Press, Taylor & Francis.

Harbluk, J. L., Noy, Y. I., & Eizenman, M. (2002). *The impact of cognitive distraction on driver visual behaviour and vehicle control* (*TP#13889E*). Canada:Transport Canada.

Hoffman, D.D. (2003). *Visuelle Intelligenz*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.

Hager, W. (1987). Grundlagen einer Versuchsplanung zur Prüfung empirischer Hypothesen in der Psychologie. In G. Lüer (Hrsg.), *Allgemeine Experimentelle Psychologie* (S. 43-264). Stuttgart: Fischer.

Horrey, W. J., & Wickens, C. D. (2004). Cell phones and driving performance: a meta-analysis. *Proceedings of the Human Factors an Ergonomics Society 48th Annual Meeting- 2004*, 2304-2308.

Huesmann, A., Ehmanns, D., & Wisselmann, D. (2006). Development of ADAS by means of driving simulation. *Proceedings of the Driving Simulation Conference in Paris - 2006*, 131-141.

Huguenin, R. D., & Rumar, K. (2001). Models in traffic pschology. In P.-E. Barjonet (Hrsg.), *Traffic Psychology Today* (pp. 31-59). Boston: Kluwer Academic Publishers.

Hussy, W., & Jain, A. (2002). *Experimentelle Hypothesenprüfung in der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.

Jamson, H. (1999). Curve negotiation in the Leeds Driving Simulator: a validation study. *Proceedings of the Driving Simulation Conference in Paris - 1999*, 241-249.

Jamson, H. (2001). Image characteristics and their effect on driving simulator validity. *Proceedings of the International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Colorado*. http://ppc.uiowa.edu/driving-assessment/2001/Summaries/Driving Assessment Papers/37_jamson_hamish.htm (20.07.2009)

Jamson, H., & Mouta, S. (2004). More bang for your buck? A cross-cost simulator evaluation study. *Proceedings of the Driving Simulator Conference in Paris - 2004*, 321-332.

Johannson, E., Engström, J., Cherri, C., Nodari, E., Toffetti, A., Schindhelm, R., & Gelau, C. (2004). *Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment*. (AIDE IST-1-507674-IP).

Kemeny, A., & Panerai, F. (2003). Evaluation perception in driving simulation experiments. *Trends in Cognitive Sciences, 7*, 31-37.

Knappe, G., Keinath A., & Meinecke C. (2008) Die Sensitivität verschiedener Maße zur Fahrzeugquerregelung im Vergleich. In Schade, J. & Engel, A. (Hrsg.), *Fortschritte der Verkehrspsychologie: Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (S. 237-256). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH.

Knappe, G., Keinath, A., & Meinecke C. (2006). Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegüte im Kontext der Fahrsimulation. *MMI-Interaktiv Journal, 11*, 3-13.

Knappe, G., Keinath, A., Bengler, K., & Meinecke, C.(2007). Driving simulator as an evaluation tool – assessment of field of view and secondary tasks on lane keeping and steering performance. *ESV*, *Paper Number 07-0262*.

Kirchner, A., Uddman, M., & Sandin, J. (2002). *Vehicle control and drowsiness* (VTI meddelande 922A). Sweden: Swedish National Road and Transport Research Institute.

Kopf, M. (1994). Ein Beitrag zur modellbasierten, adaptiven Fahrerunterstützung für das Fahren auf deutschen Autobahnen. *Fortschrittsberichte VDI Reihe 12 Nr. 203*. Düsseldorf: VDI Verlag.

Land, M.F, & Horwood, J. (1995). Which parts of the road guide steering? *Nature, 377*, 339-340.

Land, M.F., & Lee, D.N. (1994). Where we look when we steer. *Nature, 369*, 742-744.

Lappe, M., Bremmer, F., & van den Berg, A.V.(1999).Perception of self-motion from visual flow. *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 329-336.

Li, L., Sweet, B. T., & Stone, L. S., (2006). Humans can percieve heading without visual path information. *Journal of Vision, 6,* 874-881.

Liu, Y.-C., Schreiner, C.S., & Dingus, T.A. (1999). *Development of human factors guidelines for Advanced Traveler Information Systems (ATIS) and Commercial Vehicle Operation (CVO): human factors evaluation of the effectiveness of multimodality displays in ATIS* (*NHTSA FHWA-RD-96-150*). USA: US Department of Transportation Federal Highway Admministration.

Loomis, J.M., Beall, A.C., Macuga, K.L., Kelly, J.W., Smith, & R.S. (2006). Visual control of action without retinal optic flow. *Psychological Science, 17*, 214-221.

McDonald, W. A., & Hoffmann, E. R. (1980). Review of relationships between steering wheel reversal rate and driving task demand. *Human Factors*, *22*, 733-739.

McKnight, A.S., McKnight, A. J., & Tippets, A. S. (1998). The effect of lane line width and contrast upon lanekeeping. *Accident Analysis And Prevention, 30*, 617-624.

McLean, J. R., & Hoffmann, E. R. (1971). Analysis of drivers' control movements. *Human Factors, 13*, 407-418.

McLean, J. R., & Hoffmann, E. R. (1975). Steering reversals as a measure of driver performance and steering task difficulty. *Human Factors, 17*, 248-256.

Metzger, W. (1975). *Gesetze des Sehens*. Frankfurt am Main: Waldemar Kramer, 3. Auflage.

Michon, J.A. (1985). A critical review of driver behavior models: what do we know, what should we do?. In L. Evans & R.C. Schwing (Eds.). *Human Behavior and Traffic Safety* (pp. 485-521). New York: Plenum Press.

Mourant, R.R., & Sadhu, P.(2002). Evaluation of force feedback steering in a fixed based driving simulator. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 46th Annual Meeting – 2002*, 2202-2205.

Murata, A. (2004). Foveal task complexity and visual funneling. *Human Factors, 46*, 135-141.

Nakayama, O., Futami, T., Nakamura, T., & Boer, E. R. (1999). *Development of steering entropy method for evaluating driver workload* (SAETech. Paper Series 1999-01-0892). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.

Nirschl, G., Böttcher, S., Schlag, B., & Weller, G. (2004). Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Fahrerassistenzsystemen durch objektive Erfassung von Fahrfehlerrisiken. In: VDI Berichte 1864. *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme,* 397 – 420. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Offical Journal of the European Communities (2000). Commision Recommendation of 21st December 1999 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: A European statement of principles on human machine interface *(2000/53/EC)*.

Östlund, J., Nilsson, L., Carsten, O., Merat, N., Jamson, H., Jamson, S., Mouta, S., Carvalhais, J., Santos, J., Anttila, V., Sandberg, H., Luoma, J., de Waard, D., Brookhuis, K., Johansson, E., Engström, J., Victor, T., Harbluk, J., Janssen, W., & Brouwer, R. (2004) *Deliverable 2 - HMI and Safety-Related Driver Performance. Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe* (Project GRD1/2000/25361 S12.319626).

Östlund, J., Peters, B., Thorslund, B., Engström, J., Markkula, G., Keinath, A., Horst, D., Juch, S., Mattes, S. & Foehl, U. (2005). *Driving performance assessment methods and metrics* (Projektbericht: AIDE IST-1-507674-IP).

Owens, D. A., & Tyrrell, R. A. (1999). Effects of luminance, blur and age on nighttime visual guidance: a test of the selective degradation hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 5,* 115-128.

Peli, E. (1990). Contrast in complex images. *Journal Optical Society of America, 7*, 2032-2039.

Peters, B., & Nilsson, L. (2005). Driver behaviour models and driver support. *Proceedings of the International Workshop on Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments - 2005 Ispra, Italy*, 77-86.

Pöppel, E., & Harvey, L. O. Jr. (1973). Light-difference threshold and subjective brightness in the periphery of the visual field. *Psychologische Forschung, 36*, 145-161.

Ranney ,T. A., Harbluk, J.L., & Noy, Y.I. (2005). Effects of voice technology on test track driving performance: implications for driver distraction. *Human Factors, 47*, 439-453.

Rasmussen, J.(1983). Skills, rules and knowledge; signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Trans. Systems, Man, Cybernetics, 13*, 257-266.

Roskam, A. J., Brookhuis, K. A., de Waard, D., Carsten, O. M.J., Read, L., Jamson, S., Ostlund, J., Bolling, A., Nilsson, L., Anttila, V., Hoedemaeker, M., Janssen, W.H., Harbluk, J., Johansson, E., Tevell, M., Santos, J., Fowkes, M., Engström, J., & Victor, T. (2002). HASTE Deliverable 1 Development of experimental protocol. *Projektbericht: Human Machine Interface And the Safety of Traffic in Europe* (Project GRD 1/2000/25361 S12.319626).

Simon J.H. (2005). *Learning to drive with advanced driver assistance systems: empirical studies of an online tutor and a personalised warning display on the effects of learnability and the acquisition of skill*. Dissertation. Technische Universität Chemnitz.

Stanney, K. M., Hale, K. S., Nahmens, I., & Kennedy, R.S. (2003). What to expect from immersive virtual environment exposure: influence of gender, body mass index, and past experience. *Human Factors, 45*, 504-520.

Stanton, N. A., Young, M. S., Walker, G. H., Turner, H., & Randle, S. (2001). Automating the driver's control tasks. *International Journal of Cognitive Ergonomics, 5*, 221-236.

Strayer, D.L., & Drews, F.A. (2004). Profiles in driver distraction: effects of cell phone conversations on younger and older drivers. *Human Factors, 46*, 641-649.

Strasburger, H. (2003). Indirektes Sehen: Formerkennung im zentralen und peripheren Gesichtsfeld. In D. Albert, M. Oswald, K. Pawlik & K.-H. Stapf (Hrsg.), *Lehr- und Forschungstexte Psychologie*. Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.

Strobl, M.H. (2003). SPIDER – The innovative software framework of the BMW Driving Simulation. *VDI Berichte 1745*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.

Summala, H., Nieminen, T., & Punto, M. (1996). Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. *Human Factors, 38*, 442-451.

Triggs, T. J., & Regan, M- A. (1999). Driving simulation and human factors research: a report on an Australian program. *Proceedings of the Driving Simulation Conference in Paris - 1999*, 459- 472.

Tsimhoni, O., Smith, D., & Green, P. (2004). Address entry while driving: speech recognition versus a touch-screen keyboard. *Human Factors, 46*, 600-610.

Uhr, M.B.F, Felix, D., Williams, B. J., & Krueger, H. (2003). Comparison of the emotional response between real world environment and simulation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting – 2003*, 2142 – 2146.

Underwood, G., Chapman, P., Crundall, D., Cooper, S., & Wallén, R. (1999). The visual control of steering and driving: where do we look when negotiation curves? In A.G. Gale, I.D. Brown, C.M. Haslegrave & S.P. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles VII* (pp. 245 - 252). Amsterdam: Elsevier.

van Winsum, W., Brookhuis, K.A., & de Waard, D. (2000). A Comparison of different ways to approximate time-to-line crossing (TLC) during car driving. *Accident Analysis and Prevention, 32*, 47-56.

Wann, J., & Land, M. (2000). Steering with or without the flow: is the retrieval of heading necessary? *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 319-324.

Warren, W.H. Jr., Mestre, D. R., Blackwell, A. W., & Morris, M. W. (1991). Perception of circular heading from optical flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 17*, 28-43.

Weiler, J.M., Bloomfield, J.R., Woodworth, G.G., Grant, A.R., Layton, T.A., Brown, T.L., McKenzie, D.R., Baker, T.W., & Watson, G.S. (2000). Effects of fexofenadine, diphenhydramine, and alcohol on driving performance: a randomized, placebo-controlled trial in the Iowa Driving Simulator. *Annals of Internal Medicine, 132*, 354-363.

Wickens, C. D. (1984). *Engineering psychology and human performance*. Columbus, Toronto: Charles E. Merrill Publishing Company.

Wilkie, R.M., & Wann, J.P. (2002). Driving as night falls: the contribution of retinal flow and visual direction to the control of steering. *Current Biology, 12*, 2014-2017.

Wilkie, R.M., & Wann, J. P. (2005). The role of visual and nonvisual information in the control of locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*, 901-911.

Wierwille, W.W., & Tijerina, L. (1997). Darstellung des Zusammenhangs zwischen der visuellen Beanspruchung des Fahrers im Fahrzeug und dem Eintreten eines Unfalls. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 43*, 67-74.

Wood, J. M., & Troutbeck, R. (1992). *The effect of visual impairment on driving performance*. Canberra, Australia: Federal Office of Road Safety.

Zimbardo, P. G. (1992). *Psychologie*. Berlin: Springer, 5. Auflage.

Zhang, H., Smith, M. R. H., & Witt, G. J. (2006). Identification of real-time diagnostic measures of visual distraction with an automatic eye-tracking system. *Human Factors, 48*, 805-821.

Zwahlen, H.T., Adams, C.C.,& DeBald, D.P. (1988). Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles. In A.G. Gale (Ed.), *Vison in Vehicles II* (pp. 335-344). North Holland: Elsevier Science Publishers B.V.